

UITC**Unidad de Inteligencia
Tecnológica Competitiva****Coordinación**

Bernardo Silva Fernández
del Campo
bernardo.silva@alianzafiidem.org

Carlos Alberto Arano Barrera
Manuel Díaz Capistrán
Andrés Fleiz Jaso
Lorena Silva Gómez
Óscar Francisco Vega Zamorano
Mario Daniel Velázquez Reynoso

Difusión y Divulgación

Arturo Villegas Rodríguez
Coordinador

Danna Olivia Martínez Mendoza
Apoyo editorial

Resiliencia de infraestructura ante el cambio climático

Este boletín continúa con los esfuerzos de la Alianza FiiDEM —iniciados en julio de 2011— para dar a conocer las principales tendencias en investigación sobre temas relevantes para la ingeniería civil. Ahora monotemático, ha sido elaborado por personal de la Unidad de Inteligencia Tecnológica Competitiva, con apoyo editorial del área de Difusión y Divulgación.

En su quinta edición está enfocado en resiliencia de infraestructura ante el cambio climático. Los tópicos van desde investigación de materiales y construcción con la naturaleza, hasta el impacto en el transporte y la institucionalización de la adaptación al cambio climático, entre otros. La información sigue la línea de la innovación, a través de la información más recientemente publicada en revistas arbitradas por pares en los campos de conocimiento respectivos, lo cual brinda un valor adicional a nuestra selección. Asimismo, los resúmenes dan cuenta de experiencias sobre resiliencia de infraestructura a nivel mundial.

El término resiliencia, a incluirse en la próxima edición de la RAE, en su acepción mecánica es la “capacidad de un material elástico para absorber y almacenar energía de deformación”. En el contexto del presente boletín se define como la capacidad de un sistema (en este caso, infraestructura) para experimentar perturbaciones y mantener sus funciones y controles.

Para la Alianza FiiDEM es muy importante contar con su retroalimentación, misma que nos permitirá entregar cada vez un producto con mayor afinidad a sus intereses.

*Unidad de Inteligencia Tecnológica Competitiva
Alianza FiiDEM*

Contenido

Calor urbano y las redes de infraestructuras críticas: un punto de vista	2
Construcción con naturaleza: en busca de estrategias resilientes de protección contra marejadas.	2
Investigación de materiales de construcción y edificación eco-eficiente en el marco del programa Horizonte 2020 de la UE 2020	3
El impacto del cambio climático en el transporte de la Costa del Golfo	4
La integración de una herramienta de evaluación del cambio climático en la toma de decisiones sobre la gestión del agua impulsado por las partes interesadas en California.	4
Infraestructura de puertos australianos resiliente al cambio climático	5
La evaluación de la vulnerabilidad, la resiliencia y la capacidad de adaptación de un propietario social del Reino Unido	6
La incertidumbre sobre el cambio climático: la flexibilidad en la construcción de infraestructura de agua y el riesgo de inundaciones.	6
La integración de la dinámica socio-ecológica y la resiliencia en la investigación en sistemas energéticos	7
Nota para la adaptación de puertos ante el cambio climático: reto global para los puertos y la sociedad	8
Planeación adaptativa para infraestructuras de larga vida resilientes al clima	8
Los efectos de la variabilidad de la salinidad de los océanos debida al cambio climático en la infraestructura portuaria australianas	9
La institucionalización de adaptación al cambio climático a nivel municipal y estatal en Chetumal y Quintana Roo, México	10

Calor urbano y las redes de infraestructuras críticas: un punto de vista

El calor urbano generará problemas en las redes de infraestructuras de energía (electricidad), de transporte y de la red de información y tecnología de comunicación, debido al aumento de la densidad y de la demanda en las zonas urbanas. Existe un espectro de resistencia en estas redes, con tendencia a ser menos vulnerables a los impactos del calentamiento urbano en algunos casos. Por ejemplo, la red de comunicaciones fijas y móviles, Internet, banda ancha, etc., a pesar de tener algunos problemas potenciales relacionados con la localización óptima de los postes (la transmisión depende de la temperatura), se considera realmente que es bastante resistente a los impactos de calor. Algunas medidas para afrontar los problemas de calor en este tipo de redes incluyen el uso de sistemas de enfriamiento bajo tierra, la ubicación de nodos en zonas sombreadas y la ubicación de puntos de recarga fuera de la red a través de micro generación.

La red de transporte es más complicada y se ha producido una discusión académica sobre la mitigación del cambio climático para abordar los impactos potenciales. El impacto en la red de transporte considera el incremento de la demanda de otras redes, pandeo de líneas ferroviarias, roderas en carreteras e incremento en el consumo de energía. Algunas soluciones pueden ser el incremento de zonas sombreadas, reforzamiento de vialidades, uso de tecnologías de pavimentos fríos (*cool pavements*) y promoción del transporte en bicicleta y a pie.

El suministro de electricidad es la red de infraestructura crítica más susceptible a las altas temperaturas, situación agravada por el cambio climático. Esto es debido al impacto potencial del calor en la temperatura del transformador, donde el aumento de temperatura reduce la eficiencia de operación y la expectativa de vida del activo. Este impacto demanda un incremento de sistemas de enfriamiento, incremento de árboles y vegetación (a modo de incrementar zonas de sombra) y azoteas verdes.

En términos de ingeniería, los resultados de los modelos climáticos necesitan ser usados localmente para proporcionar un enfoque probabilístico que producirá las medidas de adaptación para ubicar problemas en las redes de infraestructura. Por el momento, la interacción entre el cambio climático y la modificación urbanística de clima no se ha tomado suficientemente en cuenta en las proyecciones del cambio climático.

► Chapman, L., *et al.* (2013). Urban heat & critical infrastructure networks: A viewpoint. *Urban Climate*, 3(mayo): 7-12. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095513000072>

Construcción con naturaleza: en busca de estrategias resilientes de protección contra marejadas

Este artículo utiliza el concepto de sistema socio-ecológico, enfocándose en las interacciones dinámicas y posibles fenómenos que se derivan de él. En este marco conceptual se utilizan tres elementos de los sistemas socio-ecológicos:

- *La resiliencia en sistemas complejos.* Se centra en el desarrollo de infraestructura flexible capaz de adaptarse a las condiciones cambiantes que influyen en los umbrales de seguridad o normas en el largo plazo. Por el contrario, las obras de ingeniería tradicionales (presas, diques, etc.) suelen estar diseñadas para soportar eventos con una probabilidad de siniestro estimada en el momento de su construcción.
- *El aprendizaje social.* El reto de investigación y de gestión es aprender a dar sentido a los acontecimientos del pasado, así como a los impactos de las condiciones climáticas extremas y a los cambios en los puntos de vista de la sociedad.
- *Los servicios del ecosistema.* Es la capacidad de los ecosistemas robustos de producir bienes y servicios que representan beneficios a poblaciones humanas, derivados —directa o indirectamente— de las funciones del ecosistema.

Este artículo contiene estudios de caso de estrategias de protección costera:

1. La costa de la Ensenada del Sur del Mar del Norte, Países Bajos. En el último siglo, el nivel del mar en esta región se ha incrementado en cerca de 20 cm, pero algunas áreas de tierra han disminuido aún más. Lagos, humedales y llanuras de inundación del interior han sido recuperados por diques, presas y la construcción de canales de drenaje. Estas actividades no solo han evitado más acreción por sedimentación, sino que también promoverá la oxidación de la turba y su compactación.

2. Un acontecimiento decisivo en la historia reciente de la protección de la costa holandesa fue la oleada provocada por la tormenta de 1953, que se tradujo en más de 1,800 heridos y causó importantes daños económicos. El desastre motivó a los políticos para modernizar el sistema de protección de la costa. Desde entonces, la mayor parte de la costa holandesa tiene una capacidad de protección contra las inundaciones muy por encima de la norma de diseño, por lo que su mantenimiento se limita a medidas a pequeña escala, como la plantación de hierba de playa en las dunas para evitar la erosión a causa del viento. Este enfoque ha sido adoptado por otras costas arenosas, como a lo largo de la costa este de los Estados Unidos y en la costa dorada en Australia.
3. Se pretende crear un “complejo de arena”, que es un sistema capaz de capturar la arena generada en procesos naturales, a modo de crear una reserva para proteger las costas. Esto implica grandes inversiones, investigación y beneficios.

► Van Slobbe, E., *et al.* (2013). Building with nature: in search of resilient storm surge protection strategies. *Natural Hazards*, 65(1): 947-966. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11069-012-0342-y>

Investigación de materiales de construcción y edificación eco-eficiente en el marco del programa Horizonte 2020 de la UE 2020

El programa Horizonte 2020 es parte de la estrategia Europa 2020 para promover un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. Contempla el impacto del clima, el cual se prevé que determinará las futuras acciones en el sector de la construcción: adaptaciones contra desastres naturales, inundaciones, tormentas, sequías, incendios, olas de calor y frío, aumento del nivel del mar e incluso deslaves. En este sentido, se exponen tendencias en algunos materiales de construcción y edificación:

Materiales para mejora de eco-eficiencia energética: Reducción de pérdidas de energía y calor en edificios

Existen materiales aislantes convencionales como poliestireno expandido, lana de roca, poliestireno extruido, corcho aglomerado y espuma rígida de poliisocianurato o poliuretano. A excepción del corcho, los demás materiales son no renovables e implican riesgos a la salud y al ambiente en su fabricación (benceno, clorofluorocarbono, isocianato) y contenido (aditivos antioxidantes, retardan-

tes de ignición). En esfuerzos por sustituir estos materiales se han probado fibras naturales, como la de cañamo, aunque es menos efectiva que los materiales sintéticos. La tecnología que más viabilidad presenta en este sentido es la de paneles de aislamiento al vacío que proveen una eficiencia 10 veces superior a la de los aislantes convencionales.

Materiales para mitigar necesidades de enfriamiento en construcciones

Las necesidades de enfriamiento en edificios se han incrementado debido al crecimiento del efecto de isla de calor urbana. Las olas de calor y la contaminación del aire agravan esta necesidad. Algunas tecnologías que ayudan a mitigar este fenómeno son: pavimentos reflejantes, pavimentos permeables y retenedores de agua, muros enfriados con evaporación pasiva y materiales de cambio de fase de absorción de calor.

Materiales con baja energía incorporada

La energía utilizada para la producción de materiales de construcción representa un 85% a 95% de la energía total utilizada durante su ciclo de vida. El porcentaje restante corresponde a su uso en construcción, mantenimiento y demolición de la construcción.

En particular, la energía incorporada en el concreto armado representa 70% del total de energía, por lo que la reducción de su contenido energético solo puede producirse mediante la reducción de la energía en este material. En edificios con clase energética A o superior, la energía incorporada puede ser equivalente a la de 50 años de vida útil de estos edificios.

Materiales de alta capacidad de reutilizamiento

En la Unión Europea existen normas sobre el uso de agregados reciclados en el concreto, que limitan su contenido a no más de 30% en volumen, aunque resultados de investigación demuestran la factibilidad de usar tasas más altas. En estas normas los residuos se gestionan como recursos.

Los desechos de minas y canteras representan pérdidas de material importantes (más de 700 millones de toneladas/año) que pueden ser reutilizados en materiales de construcción.

► Pacheco-Torgal, F. (2013). Eco-efficient construction and building materials research under the EU Frame-

work Programme Horizon 2020. *Construction and Building Materials*, 51: 151-162. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813009793>

El impacto del cambio climático en el transporte de la Costa del Golfo

El área central de la costa del Golfo posee una robusta red de transporte de personas y mercancías dentro de la región, así como para el transporte nacional e internacional. Dada la magnitud y la importancia estratégica de la infraestructura de transporte es fundamental tener en cuenta las posibles vulnerabilidades de la red que se pueden presentar debido al cambio climático.

El área de estudio incluye 48 condados costeros contiguos en cuatro estados de Estados Unidos, que va desde Houston, Texas, hasta Mobile, Alabama. Debido en gran parte a su historia sedimentaria, la región es de baja altitud y la gran mayoría de la zona de estudio se encuentra por debajo de 30 m de altura.

Para evaluar las posibles vulnerabilidades que la red puede presentar debido al cambio climático se utilizan simulaciones sobre los cambios en esta área. Los análisis corresponden a:

- *El aumento del nivel del mar.* Es probable que el nivel del mar relativo en el área de estudio aumente al menos 0.3 m en toda la región y, posiblemente, hasta 2 m en algunas partes de la zona de estudio.
- *Aumento de las temperaturas.* Se prevé un aumento de la temperatura media anual de la Costa del Golfo hasta el final de este siglo. Así, la temperatura media aumentaría en $1.5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante los próximos 50 años. Las líneas de ferrocarril pueden verse afectadas por pandeo más frecuente debido a un aumento en las temperaturas altas diarias.
- *Cambios en los patrones de precipitación.* Se espera que las precipitaciones promedio disminuyan debido al aumento de las temperaturas y altas tasas de evapotranspiración resultantes, aunque algunos modelos matemáticos indican que las precipitaciones pueden aumentar en otras zonas. Asimismo, se espera un aumento en la frecuencia e intensidad de tormentas, lo que incrementa el riesgo de inundaciones, haciendo énfasis en la capacidad de los sistemas de drenaje existentes.

La incorporación de los factores climáticos puede requerir nuevos enfoques en la toma de decisiones en los planes de infraestructura de transporte:

- *Planeación de plazos.* Los plazos utilizados en los procesos de planeación del transporte federal (de 20 a 30 años) son cortos en comparación con el periodo en el cual se producen las afectaciones provocadas por el cambio climático y otros procesos medioambientales. La longevidad de la infraestructura de transporte (que puede durar más allá de un siglo) hace necesaria la consideración de las variables climáticas.
- *Enfoque de la evaluación del riesgo.* Se elaboró un marco conceptual para la consideración de los factores climáticos. Este enfoque incorpora cuatro factores clave para la comprensión de cómo el cambio climático puede afectar la infraestructura: exposición, vulnerabilidad, resiliencia y adaptación.

Si bien no existe información suficiente en la actualidad para comenzar a evaluar los riesgos y poner en práctica estrategias de adaptación, un mayor desarrollo de los datos y análisis ayudarán a los encargados de planeación, ingenieros, operadores y personal de mantenimiento a crear un sistema más robusto de información que permitirán la prevención y solución de posibles problemáticas.

► Savonis, M. *et al.* (2009). The impact of climate change on transportation in the Gulf Coast. *American Society of Civil Engineers, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering Conference (TCLEE) 2009*: 1-11. [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41050\(357\)64](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41050(357)64)

La integración de una herramienta de evaluación del cambio climático en la toma de decisiones sobre la gestión del agua impulsado por las partes interesadas en California

La introducción del cambio climático en los procesos de toma de decisiones representa a la vez un desafío y una oportunidad. Existe un reto, el cual es convencer a los tomadores de decisiones sobre la necesidad de considerar en sus decisiones la variación debida al cambio climático, a pesar de la incertidumbre aún existente en este tema.

Se presentan dos desafíos centrales en la gestión del agua en el estado de California:

- Superar el desajuste espacial y temporal de las precipitaciones y las necesidades de uso del agua.
- Equilibrar las necesidades de agua para agricultura y las zonas urbanas. El cambio climático puede empeorar esta situación.

Para apoyar la toma de decisiones se utilizó la plataforma Water Evaluation and Planning (WEAP), que reconoce que el suministro de agua es definido por la cantidad que llega a una cuenca a causa de las precipitaciones. Este marco se puede aplicar en virtud de futuros escenarios de cambio climático para investigar cómo la hidrología podría afectar los servicios de los ecosistemas asociados.

También se ha generado un inventario de los procesos de toma de decisiones sobre gestión del agua en California. Este inventario se generó a través de la consulta de personas informadas en la comunidad y que serían directamente afectadas. Se comparan los periodos para la toma de decisiones y el tiempo en que se estarán manifestando sus efectos.

Como medidas para afrontar la problemática sobre la gestión del agua se planea llevar a cabo los siguientes proyectos:

- Levantamiento de presa Shasta en el río Sacramento.
- Construcción de un depósito en el Valle de Sacramento.
- Construcción de una instalación de almacenamiento mediante la conversión de la isla Delta en un depósito.
- Construcción de un depósito en el Valle de San Joaquín.
- Mejora o reemplazo de la presa Friant, en el río San Joaquín.

Cada decisión individual sobre la gestión del agua debe tener en cuenta el impacto potencial del cambio climático. La utilización del marco integral descrito en este documento es un primer paso en la implementación de una toma de decisiones que considere estas variables.

► Purkey, D. *et al.* (2007). Integrating a climate change assessment tool into stakeholder-driven water management decision-making processes in California. *Water Resour Manage*, 21: 315-329. <http://www.weap21.org/downloads/CCAssessmentCalifornia.pdf>

Infraestructura de puertos australianos resiliente al cambio climático

Las estructuras de concreto se deterioran sobre todo a causa de una combinación de los esfuerzos generados por los ciclos de calentamiento y enfriamiento, humectación y secado, y la corrosión del acero de refuerzo. Con estructuras de concreto armado, el fenómeno electroquímico de la corrosión del acero incrustado siempre se asocia con el agrietamiento y desprendimiento del recubrimiento de concreto.

Para los puertos, el aumento de los riesgos de corrosión atribuible a la subida del nivel del mar también puede llegar a ser significativo como resultado de salpicaduras y de la zona de marea. Esto puede poner en peligro potencial las medidas de protección a la corrosión ya existentes, como la protección catódica.

La degradación del concreto se modela comúnmente en dos etapas: de iniciación y de propagación. Durante la iniciación, los cambios comienzan a desarrollarse en el concreto como resultado de la exposición al medio ambiente, hasta que se alcanza un límite en el que se produce el daño. Durante la propagación se produce un determinado evento —por ejemplo, la aparición de grietas—, hasta que se alcanza un estado límite especificado.

Para la predicción de estos fenómenos se utilizaron 13 modelos para pronosticar los cambios en el clima y sus afectaciones a las infraestructuras portuarias. Se consideraron las concentraciones, niveles de humedad relativa, temperatura superficial del mar, precipitaciones y la salinidad superficial del mar.

Para el deterioro del concreto existen dos tipos de modelos que en conjunto ayudan a predecir este fenómeno:

- *Deterioro por carbonatación.* Considera la calidad del concreto, cubierta de concreto, la humedad relativa y la concentración ambiental de dióxido de carbono.
- *Deterioro por cloruro.* Considera la concentración en cloruro y la exposición a éste.

Estos modelos tienen la intención de preparar a las autoridades portuarias frente a los riesgos que pueden afectar severamente las capacidades y recursos del puerto a largo plazo. La metodología de modelado climático y material desarrollado en este reporte es genérica y transferible para su uso con otros puertos. La siguiente fase de

desarrollo evaluará los impactos socio-económicos de la degradación proyectada.

► Kong, D., *et al.* (2012). Australian Seaport Infrastructure Resilience to Climate Change. *Applied Mechanics and Materials*, 238: 350-357. <http://www.scientific.net/AMM.238.350>

La evaluación de la vulnerabilidad, la resiliencia y la capacidad de adaptación de un propietario social del Reino Unido

La integración de la resiliencia en los procesos de planeación de infraestructura resulta difícil, así como también se tienen dificultades para interpretar los niveles absolutos de riesgo y los planes de contingencia.

Es por ello que en este reporte se analizan los resultados de un proyecto de colecta de información (encuestas de campo, talleres, reuniones formales e informales con directores de operaciones y análisis de planes estratégicos) sobre propietarios de tierras en el Reino Unido en zonas con riesgo de inundación, a modo de disminuir las dificultades para la integración de la vulnerabilidad, la resiliencia y las capacidad de adaptación a los planes de prácticas de adaptación de los propietarios de tierras.

Se desarrollaron tres escenarios de inundación: pequeña, de hasta 0.1 m; media, de hasta 0.6 m, y grande, de hasta 1.5 m. Se examinó el potencial del impacto en cada uno de ellos en lo relativo a: simulación de daños, mantenimiento correctivo y tiempo de rehabilitación de las zonas afectadas.

Se identificó que los planes de contingencia subestimaban la magnitud de los escenarios, ya que se centraron en proteger físicamente las propiedades más cercanas al río, sin considerar a otros afectados por un incidente de mayor magnitud.

Los entrevistados mencionaron que en la actualidad no están en condiciones de hacer frente a un evento de inundación pluvial como consecuencia de los cambios climáticos futuros.

No fue posible vincular estas amenazas con el cambio climático debido en gran parte a la imposibilidad de cuantificar el impacto potencial del cambio climático en el riesgo de inundación. Por lo mismo, los entrevistados mostraron escepticismo respecto de los mapas de inundaciones pluviales basados en un futuro incierto y les resul-

tó difícil relacionarlo con las prioridades de mantenimiento y renovación.

Desde una perspectiva de gestión de activos construidos, la incertidumbre con los datos de cambio climático se agrava por las actitudes hacia la adaptación. Mientras que los entrevistados poseían una buena comprensión del tipo de daño que se causaría a sus propiedades un evento de inundación pluvial, y estaban al tanto de las medidas técnicas que se podrían integrar en sus propiedades para mejorar la capacidad de recuperación de inundaciones, su incapacidad para evaluar el costo de las implicaciones de todo su parque de viviendas fue percibida como un obstáculo importante para la integración de la adaptación en su estrategia de gestión de activos.

► Jones, K., *et al.* (2013). Assessing vulnerability, resilience and adaptive capacity of a UK Social Landlord. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 4(3), 287-296, consultado abril 30, 2014, en <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=17096684&show=abstract>

La incertidumbre sobre el cambio climático: la flexibilidad en la construcción de infraestructura de agua y el riesgo de inundaciones

Son pocos los estudios que hasta la fecha hacen uso directo de modelos climáticos para evaluar y gestionar los impactos futuros del cambio climático. Es por ello que se utiliza en este artículo un conjunto de procedimientos para desarrollar y aplicar un modelo de optimización RIO (*real in options*), el cual ha sido modificado para la adaptación de los sistemas de inundación al cambio climático. Se compone de los siguientes pasos:

1. Determinación del árbol de escenarios para el proceso estocástico. Como ejemplo se analiza el caso de la modificación de un sistema de drenaje urbano, donde el parámetro incierto es la intensidad de la lluvia de la tormenta de diseño.
2. Identificar las opciones posibles y la flexibilidad del sistema de infraestructura.
3. Formular el modelo de optimización RIO en términos de sus objetivos, las limitaciones y las variables de decisión, teniendo como objetivo reducir al mínimo el costo del ciclo de vida esperado para la estrategia adaptativa.

4. Establecer y ejecutar el modelo de optimización de RIO.

El contexto para la aplicación de un caso de estudio es un sistema de drenaje urbano existente en el oeste de Garforth, Inglaterra. Datos recientes hacen recomendable la aplicación del análisis RIO, el cual se desarrolló según los siguientes pasos:

1. *Determinación del árbol de escenarios.* Existe incertidumbre sobre la intensidad de lluvias. Para representar esta incertidumbre suponemos que el cambio en la intensidad de la lluvia sigue un movimiento geométrico browniano (GBM).
2. *Identificar las opciones posibles.* Se trabaja con variables de diseño y su rango de flexibilidad (sustitución de ductos de alcantarillado, construcción de instalaciones de almacenamiento, etc.)
3. *Formular el modelo de optimización RIO.* Los costos esperados de las estrategias de adaptación son promediados sobre las trayectorias de cambio climático basado en las probabilidades derivadas del proceso estocástico para obtener solo un costo de ciclo de vida para la estrategia gestionada, considerando: costo de capital inicial, costo evolutivo (costo por etapa) y costo de daños (por inundaciones y cambio climático).
4. *Establecer y ejecutar el modelo de optimización RIO.* Se ejecuta en software específico.

Los datos de salida del programa RIO generan estrategias de adaptación óptimas para el cambio climático. El costo de implementación de estas estrategias representa un 20% menos que el costo por no implementarlas.

► Gersonius, N., *et al.* B. (2013). Climate change uncertainty: building flexibility into water and flood risk infrastructure. *Climatic Change*, 116(2): 411-423. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-012-0494-5>

La integración de la dinámica socio-ecológica y la resiliencia en la investigación en sistemas energéticos

Actualmente existen desafíos importantes para los sistemas de energía, en el aspecto de lograr la sostenibilidad social, económica y ambiental. El sistema energético

mundial sigue atrapado por los combustibles fósiles y presenta retos para la sostenibilidad: reducir las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los combustibles fósiles, seguridad energética, la economía del carbono y el acceso universal a servicios energéticos. En este sentido, se debe considerar la resiliencia, la cual es una propiedad sistemática que se refiere a la magnitud del cambio que un sistema puede experimentar antes de cambiar a un estado alternativo.

En este reporte se analiza cualitativamente la resiliencia socio-ecológica, la cual posee tres componentes: la cantidad de perturbación que un sistema puede absorber y aún permanecer en el mismo estado; el grado en que el sistema es capaz de auto-organizarse, y el grado en que el sistema puede acumular y aumentar la capacidad de aprendizaje y de adaptación.

En fuentes de energía de bajas emisiones de carbono se analizan los principales problemas socio-ecológicos de cada una de éstas.

En el caso de la energía eólica los problemas identificados son las áreas de fuerza máxima del viento, que pueden estar muy lejos de las poblaciones de los consumidores y hace necesaria infraestructura de transmisión costosa, haciendo decrecer la eficiencia. Otro punto son las colisiones de aves, que dependen de la localización espacial de los aerogeneradores.

En energía marina, la construcción de los desarrollos costa afuera provoca perturbaciones físicas al ambiente local, con implicaciones a corto y largo plazo sobre la biodiversidad y la calidad del agua.

Para biocombustibles el principal problema identificado es el uso de tierras para la obtención de insumos, así como de agua, ya que compite con el consumo humano.

Por último, se hace énfasis en la necesidad de incluir una perspectiva socio-ecológica para el desarrollo de futuros sistemas de producción de energía.

► Hodbod, J., *et al.* (2014). Integrating social-ecological dynamics and resilience into energy systems research. *Energy Research & Social Science*, marzo 2014 (en prensa). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629614000139>

Nota para la adaptación de puertos ante el cambio climático: reto global para los puertos y la sociedad

Se analizan las estrategias para lograr la resiliencia en puertos:

1. Participación de todas las partes interesadas en la planeación de la resiliencia. Ingenieros, encargados de planeación y finanzas, aseguradoras, científicos, operadores, transportistas, áreas de regulación y áreas de respuesta a emergencias.
2. Mejorar las proyecciones climáticas locales y mejora de las condiciones para la reducción de riesgo. Los tomadores de decisiones se basan en información obtenida de los modelos globales con baja resolución espacio-temporal y escasa verificación en la zona real. Los ingenieros y planificadores requieren mejores proyecciones a nivel local/regional para abordar el diseño técnico de la infraestructura portuaria y resistente al clima.
3. Proteger, elevar o cambiar de ubicación. El aumento del nivel del mar de hasta 1.9 m indica que muchos puertos existentes se enfrentarán a frecuentes inundaciones, incluso en tormentas moderadas. Para llegar a resistir estos fenómenos, los puertos tienen tres opciones principales: actualizar las defensas de tormenta, elevar para compensar el nivel del mar proyectado o reubicar por completo.
4. Crear un entorno propicio para la inversión. Los puertos proporcionan beneficios que se extienden más allá de los del operador o inversionista. En consecuencia, el interés en mantener esta infraestructura operativa va más allá de un grupo de interesados para incluir un amplio conjunto de entidades públicas y privadas.

Existen esfuerzos de este tipo en diferentes partes del mundo:

- El puerto de Rotterdam, Países Bajos, unió fuerzas con otros grupos de interés para desarrollar un programa para adaptación contra el cambio climático, cuyo objetivo es hacer la ciudad resistente a los impactos del cambio climático en 2025 y garantizar que Rotterdam sea una de las ciudades portuarias más seguras en el mundo.

- El puerto de San Diego, California, encabezó un esfuerzo de múltiples partes interesadas para atender la mitigación del cambio climático y generar un plan de adaptación con las comunidades aledañas que comparten la responsabilidad de la respuesta de emergencia, protección de los servicios públicos fundamentales y el drenaje de las aguas pluviales.
- En el Puerto de Muelles del Bosque, en Cartagena, Colombia, se elaboró un estudio de riesgo climático donde se establecen los impactos financieros, sociales y ambientales evaluados cuantitativamente que se proyectan como resultado de los cambios climáticos.
- En Australia se ha desarrollado un marco para el estudio de los riesgos, la vulnerabilidad y la resiliencia de los puertos del país, que destaca la adaptación del puerto frente al cambio climático, la cual implica el desarrollo de prácticas en una serie de ámbitos como tecnología, diseño y mantenimiento, planeación, seguros y la gestión de sistemas.

Estos estudios e iniciativas demuestran enfoques integrados y de colaboración como respuesta al cambio climático para las regiones portuarias.

► Becker, A., *et al.* (2013). A note on climate change adaptation for seaports: a challenge for global ports, a challenge for global society. *Climatic Change*, 120(4): 683-695. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-013-0843-z>

Planeación adaptativa para infraestructuras de larga vida resilientes al clima

En el pasado, las incertidumbres respecto a las afectaciones del cambio climático han sido ignoradas por los encargados de la planeación sobre aspectos relacionados a infraestructuras, debido a la dificultad de integrarlas en el proceso de planeación. Utilizando registros históricos se ha evaluado la probabilidad de diversos eventos, transformando así las incertidumbres sobre los riesgos en variables más predecibles.

A modo de considerar la mayor parte de las variables involucradas en la planeación de la infraestructura resiliente se consideran los siguientes puntos:

- Reducir las incertidumbres sobre los impactos del cambio climático y determinar las nuevas distribuciones de probabilidad para los patrones y los eventos.

- Riesgos de la tecnología climática.
- Evolución del precio del carbono, que depende de demasiadas incógnitas para ser pronosticadas.

Definición de una visión estratégica a largo plazo

La planeación de infraestructuras a largo plazo se implementa comúnmente a través de los servicios públicos regulados, por lo que la infraestructura incremental sigue un plan de inversión a largo plazo que proporciona un marco para la inversión en un periodo de 20 a 40 años en el futuro. Es por ello que la infraestructura resistente al cambio climático está estrechamente conectada con la planeación del desarrollo.

Una vez que las necesidades respecto a las adaptaciones en infraestructuras han sido identificadas, las decisiones tienen que hacerse sobre la mejor manera de responder a estas necesidades. Las infraestructuras críticas deben ser identificadas, así como un programa de construcción y de mantenimiento planificado. La principal dificultad es que el cambio climático influye en todo el marco, en cada una de las etapas del proceso de planeación.

Planeación adaptativa dinámica

Este enfoque se basa en el trabajo desarrollado en torno al concepto de la política de adaptación. Estos nuevos métodos de planeación requieren diferentes tipos de información en comparación con lo que requiere un proceso de optimización probabilística. Para esto se deben considerar los siguientes puntos:

- *Visión a largo plazo.* El punto de partida es la visión a largo plazo teniendo en cuenta, entre otras, las nuevas incertidumbres creadas por el cambio climático.
- *Evaluación basada en la evidencia.* Desde esta visión se determinan las necesidades de infraestructura. Algunas opciones pueden ser definidas para cumplir con estos requisitos; el gobierno decidirá la que parece más adecuada.
- *Plan de aplicación.* Los resultados esperados están claramente enmarcados y el plan es implementado. El plan de aplicación incluye un plan de contingencia con diferentes tipos de medidas de adaptación para garantizar que los requerimientos de infraestructura se cumplen.

El plan de aplicación debe incluir medidas, de acuerdo con la disponibilidad de la información:

- *Acciones de cobertura:* tomadas con antelación para reducir el riesgo de posibles efectos adversos recientemente identificados.
- *Medidas preventivas:* tomadas después de que un riesgo se materializó, pero los daños son tales que el plan no necesita ser modificado.
- *Acciones correctivas:* tomadas después de que un riesgo se materializó, pero los daños son tales que parte del plan tiene que ser modificado.
- *Reevaluación:* el plan claramente no funciona y necesita ser reevaluado. El gobierno no tiene más opción que redefinir su visión y los requisitos de nueva infraestructura.

► Giordano, T. (2012). Adaptive planning for climate resilient long-lived infrastructures. *Utilities Policy*, 23:80-89. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957178712000409>

Los efectos de la variabilidad de la salinidad de los océanos debida al cambio climático en la infraestructura portuaria australiana

El acero de refuerzo en estructuras de concreto está protegido de la corrosión por la alcalinidad de la matriz de cemento y la distancia de la cubierta desde el entorno cargado de cloruro. Sin embargo, la capacidad de los iones cloruro para penetrar a través del concreto e iniciar el proceso de corrosión del acero de refuerzo ha costado a la economía mundial más de 1.8 miles de millones de dólares al año, o en países occidentales, por lo general el 2.5% de su PIB nacional anual. A pesar de los efectos evidentes que la temperatura, humedad relativa y los ciclos de humectación/secado pueden tener sobre la tasa de penetración de cloruros, todavía se sabe poco sobre la influencia de las variaciones de la concentración de la salinidad en el ambiente circundante.

En pruebas realizadas en probetas de concreto se determinó que las resistencias a la compresión muestran los efectos perjudiciales de los ambientes de alta salinidad. Después de solo 90 días de exposición en ambiente de inmersión total, la resistencia a la compresión de las muestras expuestas a agua fresca fue 23% más alta que

las sometidas al agua de los océanos y 11% superior a la de las muestras expuestas a la laguna.

El estudio demuestra, a través del análisis de datos históricos y de ecuaciones establecidas y estudiadas con anterioridad, que existe una relación definida entre los niveles de salinidad y la corrosión provocada por la penetración de iones de cloruro.

En un clima cambiante, las autoridades portuarias y los grupos de gestión de infraestructuras son cada vez más dependientes de los estudios de investigación que se llevan a cabo sobre los efectos que el cambio climático puede tener sobre sus estructuras. Este artículo muestra que debido a los efectos del cambio climático, es probable que esté en aumento la variación de la salinidad de aguas en latitudes más altas convirtiéndolas en más frescas, y las aguas que rodean al ecuador cada vez más salinas.

► Hunting, A., *et al.* (2013). The effects of ocean salinity variance due to climate change on Australian seaport infrastructure. *Applied Mechanics and Materials*, 438-439: 157-165. <http://www.scientific.net/AMM.438-439.157>

La institucionalización de adaptación al cambio climático a nivel municipal y estatal en Chetumal y Quintana Roo, México

Debido a su ubicación geográfica, el estado de Quintana Roo está familiarizado con los riesgos de desastre. Los cambios previstos en el clima incluyen un aumento en la incidencia de huracanes y tormentas tropicales, niveles del mar más elevados, mayor incidencia de tormentas, aumentos en la temperatura media y sequías e inundaciones más extremas. Sin embargo, esta entidad ha desarrollado una serie de medidas para afrontar estas problemáticas desde la perspectiva ambiental.

Algunas iniciativas específicas desarrolladas incluyen:

- Un sistema de alerta temprana fiable que comienza 72 horas antes de que el huracán toque tierra.
- El Sistema de Comunicación Social (Sistema Quintanarroense de Comunicación Social - SQCS), que alinea todos los canales de información y comunicación.
- Programas para la conservación y la recuperación de playas.

- Un sistema para la localización de los turistas.
- Programa de vivienda segura para los hogares de bajos ingresos en Chetumal y en las comunidades rurales, para resistir los impactos de los huracanes.
- Modificaciones a los códigos de construcción y normas urbanas.
- Preparación de atlas de riesgo del estado, que debe incorporar las variables del cambio climático.

En México, los estados son los encargados de la elaboración e implementación de planes de desarrollo regional (Programas de Ordenamiento Ecológico Territorial-POET), la elaboración de políticas sobre el uso de los recursos naturales, la aplicación de controles ecológicos y la gestión de las reservas naturales (Áreas Naturales Protegidas - ANP). En ese sentido, existen temas fundamentales como la gestión del agua y la protección de áreas naturales.

La gestión del agua es un área de la adaptación prioritaria en el Programa Nacional de Cambio Climático. El agua es el principal medio a través del cual el cambio climático afecta a los sistemas humanos y naturales; sin embargo, en muchos lugares la gestión del agua no puede ni siquiera hacer frente a la variabilidad climática actual.

Con el cambio climático, el equilibrio del flujo de agua y la recarga probablemente va a cambiar, lo que resulta en nuevos equilibrios entre los cuerpos de agua salada y de agua dulce. Una buena gestión del agua es una de las mejores acciones de adaptación al cambio climático.

La protección de las áreas naturales y el uso sostenible de los recursos naturales son fundamentales tanto para la mitigación como para la adaptación. La conservación de los ecosistemas es un reto en el contexto de las tensiones entre el turismo, el desarrollo de la tierra, agricultura y los ejidos forestales.

► Hardoy, J., *et al.* (2014). Institutionalizing climate change adaptation at municipal and state level in Chetumal and Quintana Roo, Mexico. *Environment and Urbanization*, 26(1): 1-17. <http://eau.sagepub.com/content/early/2014/02/21/0956247813519053>