

COSTOS ECONÓMICOS DEL HURACÁN ALEX EN NUEVO LEÓN, MÉXICO

David Mendoza Tinoco,^a Alba Verónica Méndez Delgado^b
y Alfonso Mercado García^a

Fecha de recepción: 29 de agosto de 2018. Fecha de aceptación: 4 de febrero de 2019.

<https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2019.198.67469>

Resumen. México es afectado periódicamente por fuertes inundaciones que inhiben su desarrollo económico. Medidas de adaptación y gestión de riesgos se basan sobre todo en la evaluación de costos, por lo que ésta debe ser comprehensiva. Este artículo evalúa los costos económicos totales ocasionados por el huracán Alex en el estado de Nuevo León en el año de 2010, fenómeno natural que fue catalogado como el más devastador de los últimos 50 años. Así, se aplicó por vez primera, para un caso en el país, una metodología que considera, además de los costos directos (daños materiales), los costos indirectos (afectaciones a la producción) en los sectores económicos de la región afectada, basada en el modelo insumo producto (MIP). Los resultados estiman MXN\$20.5 mil millones en costos totales, de los cuales 29% (6 mil millones) corresponden a costos indirectos.

Palabras clave: desastres naturales; costos indirectos; gestión de riesgos; ciclones tropicales; modelo insumo producto.

Clasificación JEL: O13, O54, O56, P28.

ECONOMIC COSTS OF HURRICANE ALEX IN NUEVO LEÓN, MEXICO

Abstract. The periodic heavy flooding which Mexico experiences impacts negatively on its economic development. Adaptation and risk-management measures are predominantly based on cost evaluation, which therefore needs to be comprehensive. This paper evaluates the total economic cost of Hurricane Alex in the state of Nuevo León in 2010, which was the most devastating natural phenomenon recorded during the last 50 years. Therefore, for the first time in Mexico, a methodology was applied which factors in both direct costs (material damage) and indirect costs (productivity losses) in the affected region's economy (MIP). This methodology was based on the input-output model. The results suggest that total costs were \$20.5 billion MXN, of which 29% (6 billion) were indirect costs.

Key Words: natural disasters; indirect costs; risk management; tropical cyclones; input-output model.

^a El Colegio de México, México, ^b Universidad Autónoma de Coahuila, México. Correos electrónicos: dmtinoco@colmex.mx, albamendez@uadec.edu.mx y amercado@colmex.mx, respectivamente.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la intensidad y la frecuencia de los desastres naturales hidrometeorológicos se incrementaron como consecuencia del cambio climático.¹ Dentro de estos desastres naturales, uno de los que más afectan a México son los ciclones tropicales y sus consecuentes inundaciones extremas.² Las características hidrográficas y la distribución geográfica de grandes aglomeraciones urbanas incrementan la vulnerabilidad del país ante estos fenómenos naturales.

En años recientes se han difundido cálculos sobre la vulnerabilidad de México ante eventos hidrometeorológicos. Por ejemplo, se calcula que la extensión del territorio que está en riesgo es de 162 mil km², equivalente al 8.2% del territorio nacional (Arreguín-Cortés *et al.*, 2016). También se ha encontrado que, del 2000 al 2016, los desastres naturales tuvieron un impacto económico de MXN\$424 929.6 millones (CENAPRED, 2014). Según el Servicio Meteorológico Nacional, uno de los años de mayor devastación en el país fue 2010, pues nueve ciclones tropicales se registraron en territorio nacional; varios de éstos crecieron a la categoría de huracán, sobresaliendo por su grado de devastación Karl y Matthew, mismos que afectaron al estado de Veracruz. Sin embargo, el más catastrófico fue Alex, el cual dañó a los estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila, por un monto calculado en MXN\$25 014.9 millones.³

Alex fue considerado uno de los huracanes más potentes en los últimos 50 años (CENAPRED, 2014); el estado de Nuevo León fue el más castigado por Alex.⁴ La geografía de la región (el estado y sobre todo su capital, Monterrey) presenta condiciones propicias para las inundaciones, los deslizamientos y las sequías (Torres *et al.*, 2010). El río Santa Catarina, que atraviesa la ciudad de Monterrey, es la principal causa de que las inundaciones, provocadas por la

¹ El cambio climático afecta el ciclo hidrológico y provoca que existan en algunas regiones sequías y en otras abundantes lluvias que se convierten en inundaciones. En el periodo 1985-2010, las inundaciones en el planeta ocurrieron, en su mayoría, en zonas urbanas. Esto se combina con un mal desarrollo urbano de las ciudades y el cambio en el uso del suelo, problemas que impiden una correcta filtración del agua (Arreguín-Cortés *et al.*, 2016).

² Las inundaciones son provocadas por el desbordamiento de ríos, lluvias intensas con acumulaciones en alguna zona, fallas en el alcantarillado en zonas urbanas, deforestación, urbanización, inadecuada operación de presas, mareas, ciclones tropicales y otros factores (IPCC, 2012).

³ El impacto económico directo total de los desastres naturales en 2010 se estimó en MXN\$92 146.1 millones (CENAPRED, 2014).

⁴ Su impacto directo fue de MXN\$21 500.8 millones (CENAPRED, 2014, p. 321).

presencia de huracanes en el Golfo de México, afecten de manera importante a la sociedad y a la economía de la región.

El caso del huracán Alex fue seleccionado debido a su devastación, originada por la cantidad de agua que cayó en un periodo corto de tiempo.⁵ De esta forma, es el propósito de este trabajo estimar los costos económicos totales ocasionados por este fenómeno natural en la República mexicana.

Sin embargo, las evaluaciones tradicionales sobre el registro de las pérdidas ocasionadas por los desastres naturales sólo toman en cuenta el daño directo en la infraestructura física (Veen, 2004; Cole, 2003; Steenge y Bočkarjova, 2007); esto es, la cuantificación monetaria de la destrucción física ocasionada por el fenómeno natural. Por otro lado, existe evidencia de efectos en cadena causados por los daños directos, los cuales son denominados costos indirectos e incluyen todos los costos asociados a las restricciones a la producción como consecuencia de la destrucción física. Se estima que estos costos representan una parte importante del total de los costos económicos de un desastre (Cochrane, 1997; Hallegatte y Przyluski, 2010; Veen, 2004). El cálculo de los costos indirectos es fundamental para lograr una gestión eficiente de los riesgos de inundaciones. Para ello es necesaria una evaluación de la pérdida de productividad laboral y de capital industrial, con el fin de estimar los efectos que permean al resto de la economía durante el proceso de recuperación. Al tomarse en cuenta los factores anteriores se podría disminuir la vulnerabilidad e incrementar la resiliencia de las regiones afectadas por desastres naturales (Okuyama, 2009; Rose, 2004; Veen y Logtmeijer, 2003).

El objetivo de este trabajo es estimar el impacto económico total producido por el huracán Alex en el estado de Nuevo León. Este impacto incluye efectos directos e indirectos en la economía. La metodología empleada permitió estimar los costos directos por daños al capital industrial, al capital residencial, y a la infraestructura. Asimismo, presenta la estimación de los daños indirectos asociados a las restricciones productivas causadas por los daños en infraestructura y capital industrial. También estima los costos asociados a las restricciones laborales y a los cambios de comportamiento en la demanda de los hogares.

⁵ De la noche del 30 de junio a la mañana del 1o de julio, Alex destruyó la infraestructura urbana y residencial dejando a 15 800 familias damnificadas. El río Santa Catarina, por lo regular seco, entonces se desbordó, provocando que tramos de las avenidas principales de la ciudad se derrumbaran; el aeropuerto, las escuelas y la línea 2 del metro suspendieran operaciones; así como las autopistas Monterrey-Ciudad Victoria, Monterrey-Salttillo tuvieran que cerrarse; millones de personas se quedaron sin electricidad (Torres Navarro *et al.*, 2010).

Una ventaja de la metodología que se aplicó para la estimación de daños es que tomó como base el modelo insumo producto (IP), que permite medir los efectos en cadena (o indirectos) que resultan de las interrelaciones sectoriales y regionales. En general, la propuesta metodológica presentada coadyuvará en una mejor preparación y adaptación de las regiones para los eventos naturales futuros.

En la sección 2 se ofrece un resumen de las principales metodologías de evaluación económica de los daños de los desastres naturales y se revisan, en especial, varias aplicaciones de la metodología IP en este tema. En la tercera sección se explica el modelo que se usó en la estimación de los daños causados por la inundación y los datos se describen en la sección cuatro; los resultados se presentan en la sección 5. Por último, se ofrecen las conclusiones en la sección 6.

2. ANTECEDENTES DE MÉTODOS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

Las metodologías

En la bibliografía económica existe un debate intenso sobre qué metodología se debe utilizar para el análisis de los desastres naturales. La discusión se deriva de la influencia que tienen los supuestos, los datos y las teorías de referencia en los resultados (Okuyama, 2007; Greenberg *et al.*, 2007). Entre las metodologías más aplicadas están los modelos econométricos, el IP y el modelo de equilibrio general aplicado (EGA). Todas las alternativas buscan subsanar las debilidades que han surgido cuando se aplican al análisis de los desastres naturales.

Por una parte, la rigurosidad estadística de los modelos econométricos permite obtener pronósticos sobre el impacto de los desastres naturales. Para la aplicación de este tipo de análisis se requiere, sin embargo, información histórica de los desastres naturales en el ámbito regional, lo que complica la implementación de este tipo de herramientas debido a la escasez de datos en el tiempo y por región. Otro problema relacionado con los datos es que éstos no hacen distinción entre las pérdidas directas y las indirectas generadas por los eventos naturales, por lo tanto, la falta de datos adecuados para el análisis limita el alcance de los modelos econométricos (Cochrane, 2004; Greenberg *et al.*, 2007; Hallegatte y Przyluski, 2010; Li *et al.*, 2013; Okuyama, 2007 y 2009).

Por otra parte, el flujo circular de la economía en equilibrio es la base de los modelos de IP, compuestos por tablas de transacciones interindustriales en toda la economía. La información se acomoda en matrices. Al conocer las transacciones entre agentes económicos es posible evaluar los efectos indirectos en la cadena de valor. Una ventaja de utilizar esta metodología es que la calibración de parámetros es menor a la requerida por otras metodologías, y otra ventaja es que las matrices IP pueden regionalizarse. Lo anterior permite realizar análisis regionales y estimar las pérdidas indirectas de los desastres naturales. No obstante, las desventajas de aplicar esta metodología son que constituyen un modelo estático basado en una función de producción de proporciones fijas y precios fijos, y no considera la sustitución de insumos ni de importaciones (Cole, 2003; Greenberg *et al.*, 2007; Okuyama, 2007 y 2009; Rose, 2004).

Frente a las limitaciones de los modelos IP, los modelos de EGA buscan reducir las rigideces relacionadas con la restricción de la oferta, los cambios en precios, la no linealidad y la sustitución de insumos e importaciones. La desventaja es que con ellos aumenta considerablemente la cantidad de parámetros con calibración exógena. Para el análisis de desastres naturales, el problema es que los modelos EGA suponen que la economía está en equilibrio todo el tiempo, lo cual es imposible de sostener en el caso de un fenómeno natural negativo (Cole, 2003; Greenberg *et al.*, 2007; Okuyama, 2007 y 2009; Rose, 2004).

Aplicaciones del modelo IP

La decisión de estudiar el impacto del huracán Alex con el modelo IP, se debe a que éste permite hacer un análisis regional (estado de Nuevo León), calcular los efectos indirectos y medir los daños en un escenario de desequilibrio económico provocado por el evento climático.

Antes de explicar el modelo IP aplicado al caso en estudio, se dará cuenta de algunos estudios aplicados en el tema de desastres naturales que adoptaron el modelo. Los desastres naturales provocan desequilibrios económicos en el modelo IP que Steenge y Bočkarjova (2007) incorporaron a través de una matriz de contabilidad de daños del evento (MCDE). En la diagonal principal de la MCDE está la proporción dañada de la capacidad productiva de cada sector. Entonces, los desequilibrios y posibles cuellos de botella después de un fenómeno natural negativo se contabilizan a partir de la MCDE, así como la recuperación.

Una adaptación adicional al modelo consiste en incluir el análisis de la sustitución de bienes y servicios por medio de las importaciones (Bočkarjova *et al.* 2004; Steenge y Bočkarjova, 2007). Otra aportación a la modelación IP fue realizada por Hallegatte (2008), quien añadió la dimensión temporal con la finalidad de estudiar el proceso de recuperación. A este modelo se le llama modelo de insumo producto adaptativo regional (MIPAR). Para el análisis del proceso de recuperación este modelo considera los cuellos de botella en la producción causados por los desastres naturales y el comportamiento adaptativo de consumidores y productores ante el evento. Aunque una debilidad de este modelo consiste en que excluye del análisis las restricciones en la capacidad productiva del trabajo, así como las pérdidas en el capital residencial (Li *et al.*, 2013).

Li *et al.* (2013) buscaron cubrir las limitaciones del MIPAR considerando las restricciones en la producción provocadas por los daños del desastre natural, incluyendo aquellas causadas en la fuerza laboral. Otra aportación del modelo de Li *et al.* (2013) es la incorporación del daño al capital residencial. El MIPAR cubre características deseables para el análisis de los desastres naturales dado que incluye el análisis de los daños al capital y al trabajo en la industria, e incorpora tanto los desequilibrios económicos surgidos a partir del evento como los cuellos de botella en la oferta de la economía afectada.

Recientemente, Mendoza-Tinoco *et al.* (2017) desarrollan lo que llaman la “huella de inundación”, el cual es un marco analítico de evaluación de los daños tanto en la región inundada como en los sistemas económicos interconectados a mayor escala. La metodología es una ampliación de la desarrollada por Li *et al.* (2013).

En este artículo se aplicó la metodología de Mendoza-Tinoco *et al.* (2017) (véase el artículo para una exposición más detallada del modelo) y además se amplió la metodología para incluir una *matriz de capital*, lo cual brindó consistencia a la transición entre una variable de stock (el capital industrial) y una variable de flujo (la producción), en el proceso de recuperación. Finalmente, los cambios en la demanda final se explican modelando el comportamiento adaptativo de los consumidores.

3. ESTRATEGIA EMPÍRICA

A continuación se presentan las ecuaciones más relevantes de la metodología y se desarrolla la incorporación del concepto de *matriz de capital*.

La metodología recoge los fundamentos del modelo de IP.⁶ Las tablas de IP brindan información sobre las transacciones interindustriales de toda la economía en un arreglo matricial, el cual puede representarse mediante un sistema de ecuaciones lineales:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{f} \quad (1)$$

Dónde \mathbf{x} es un vector-columna de dimensión $n \times 1$ (n es el número de sectores) que representa la producción total de cada sector.⁷ \mathbf{Ax} representa el vector de demanda intermedia, donde cada elemento de la matriz \mathbf{A} ($[a_{ij}]$) es el coeficiente técnico que indica la cantidad del producto i necesario para producir una unidad del producto j . Por último, \mathbf{f} indica el vector de demanda final de cada industria.

Para considerar otro de los principales factores productivos, se hace uso de la *ecuación básica* desarrollada por Steenge y Bočkarjova (2007) (véase ecuación 2), que contiene todas las transacciones intermedias de bienes y de requerimientos de mano de obra por sector. En este punto se considera que la economía está en equilibrio, con pleno empleo de los factores productivos:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{f}/l \\ \mathbf{I}' & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{x} \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x} \\ l \end{pmatrix} \quad (2)$$

Después de un choque negativo a la economía, como el ocasionado por algún desastre natural, las fuerzas del mercado se desequilibran, lo que genera brechas entre la oferta reducida –ocasionadas por las perturbaciones a la capacidad productiva de la industria y el trabajo–; y cambios en la demanda –ocasionados por cambios de comportamiento y la demanda de bienes de reconstrucción–. Entonces, la capacidad total de producción de la economía, después de considerar las restricciones del capital industrial y la fuerza de trabajo, es proporcional al mínimo de ellas:

⁶ Nota respecto a los símbolos y fórmulas: las matrices están representadas por letras mayúsculas en cursiva en negrita (\mathbf{XX}), vectores en cursiva negrita (\mathbf{xx}) y escalares en minúscula cursiva (xx). Los vectores son vectores de columna, los vectores de fila se obtienen transponiendo el vector ($x'x'$); una conversión de un vector a una matriz diagonal se expresa como una letra minúscula con un circunflejo ($\hat{x}\hat{x}$); Los operadores “.”, “*” y “/” se utilizan para expresar la multiplicación elemento por elemento y la división elemento por elemento de dos vectores, respectivamente.

⁷ En el modelo se supone que cada sector produce un producto uniforme con un único precio.

$$\mathbf{x}_{tp}^t = \min \{\mathbf{x}_{cap}^t, \mathbf{x}_l^t\} \quad (3)$$

Donde \mathbf{x}_{cap}^t es la capacidad productiva del capital en el tiempo t , y \mathbf{x}_l^t es la capacidad productiva del trabajo en el tiempo t de la recuperación.

Asimismo, la demanda final total de cada periodo a lo largo de la recuperación, para cada sector, considera las necesidades de insumos de dicha industria, más la demanda final que incluye los bienes de capital necesarios para la reconstrucción (véase ecuación (4)).⁸

$$\mathbf{x}_{td}^t(i) = \sum_{j=1}^n a(i, j) o^t(j) + f_{rec}^t(i) \quad (4)$$

Donde $o^t(j)$ representan los requerimientos de insumos intermedios de la industria i para el resto de los sectores. Y $f_{rec}^t(i)$ representa la demanda final que incorpora la demanda de bienes para la restauración de los daños.

Para el proceso de recuperación económica, se incorpora a la metodología el concepto de *matriz de capital*, el cual permite una transformación metodológica consistente entre la inversión de capital y la capacidad productiva.

Proceso de recuperación después de un desastre

Una economía se considera como recuperada, una vez que las capacidades laborales y de producción industrial están en equilibrio y el valor de la demanda total y la producción recobran el nivel anterior al desastre. La forma de utilizar los recursos restantes, para alcanzar las condiciones anteriores al desastre, se modelan siguiendo un *esquema de racionamiento*.

El primer paso es determinar la capacidad de producción disponible en cada periodo posterior al desastre. En el contexto de las funciones de producción Leontief, la capacidad productiva está determinada por el mínimo de cada factor productivo, capital y trabajo, como se muestra a continuación:

$$\mathbf{x}_{tp}^t = \min \{\mathbf{x}_{cap}^t, \mathbf{x}_l^t\} \quad (5)$$

En segundo lugar, el nivel de la capacidad de producción restringida se compara con la demanda total para determinar la estrategia de asignación de

⁸ Los índices en paréntesis indican el sector industrial.

los recursos restantes y para la planificación de la reconstrucción. Las reglas de este proceso constituyen lo que se llama el *esquema de racionamiento*, que a continuación se describe.

Esquema de racionamiento

El proceso de recuperación requiere la asignación de los recursos restantes para satisfacer las necesidades de la sociedad durante las consecuencias del desastre. En este trabajo, se utilizó un esquema de racionamiento de priorización proporcional que asigna primero la producción restante entre la demanda interindustrial ($A\mathbf{x}_p^t$) y luego se enfoca en las categorías de demanda final.⁹

Al calcular las posibilidades productivas del periodo siguiente, la producción real se compara primero con la demanda interindustrial. Definiendo $o_i^t = \sum_j A_{ij}x_{p(j)}^t$ como la producción requerida en la industria para satisfacer la demanda intermedia de las otras industrias, dos posibles escenarios pueden surgir después del desastre (Hallegatte, 2008).

El primer escenario ocurre si $x_{p(i)}^t < o_i^t$, en cuyo caso la producción de la industria i en el tiempo t en la situación post-desastre ($x_{p(i)}^t$) no puede satisfacer las demandas intermedias de otras industrias. Esta situación constituye un cuello de botella en la cadena de producción, donde la producción en la industria j se ve limitada por $\frac{x_{p(i)}^t}{o_i^t} x_{p(j)}^t$, donde $\frac{x_{p(i)}^t}{o_i^t}$ es la proporción de la producción restringida en la industria $j(x_{p(j)}^t)$.

Este proceso ocurre para cada industria, después debe considerarse el hecho de que las industrias que producen menos también demandarán menos, afectando y reduciendo la producción de otras industrias. La iteración de este proceso continúa hasta que la capacidad de producción puede satisfacer la demanda intermedia adaptada y una fracción de la producción restante se libera para satisfacer parte de la demanda final y de reconstrucción, y así aumentar la capacidad productiva del siguiente periodo. Esta situación conduce a un equilibrio parcial, donde se define $A\mathbf{x}_p^{t*}$ como el nivel de la demanda intermedia adaptada. El asterisco en \mathbf{x}_p^{t*} representa la capacidad de producción adaptada

⁹ Se supone que la productividad de cualquiera de los factores productivos no cambia durante el proceso de recuperación, como es el caso de las funciones de producción Leontief. También se hace el supuesto de que el desastre ocurre justo después del tiempo $t = 0$ y que el proceso de recuperación comienza en $t = 1$.

que proporciona el equilibrio parcial y es menor que la capacidad de producción real (\mathbf{x}_p^t) de la ecuación (11).

Este proceso continúa hasta que la producción total disponible en cada momento ($x_{p(i)}^t$) pueda satisfacer la demanda intermedia en el tiempo t , o_i^t .

El segundo escenario se produce cuando $x_{p(i)}^t > o_i^t$. Entonces, la demanda intermedia se puede satisfacerse sin afectar la producción de otras industrias.

Cabe mencionar que el primer escenario sólo ocurre cuando el choque a la economía es de tal magnitud que alguna(s) de las empresas no son capaces de satisfacer siquiera la demanda intermedia. Si es así, se modela en principio la recuperación de la economía para satisfacer la demanda intermedia, después de lo cual se sucede el segundo escenario. En caso de que la economía pueda satisfacer la demanda intermedia después del desastre, sólo se modela el segundo escenario.

En ambos casos, la producción restante después de satisfacer la demanda intermedia se asigna proporcionalmente a la demanda de recuperación y a otras categorías de demanda final. Adicionalmente se supone que parte de la demanda final insatisfecha está cubierta por importaciones, algunas de las cuales contribuyen a la recuperación cuando se asignan a la demanda de reconstrucción.

Matriz de capital

Esta sección describe la incorporación de la *matriz de capital* al marco analítico de la evaluación de impacto económico, para lograr una transformación metodológica consistente de la inversión de capital a la capacidad productiva. La *matriz de capital* se utiliza por lo general en el análisis IP para simular el crecimiento económico mediante la acumulación de capital. El uso de la *matriz de capital* en el análisis de impacto económico de los desastres naturales es propuesta por Albert Steenge (Triple E Consulting, 2014), que considera a la inversión en restauración una variable exógena que permite planificar la recuperación.

La *matriz de capital* se adapta dentro del marco analítico que se ha seguido, donde la inversión en reconstrucción se asigna de acuerdo con la proporción de la demanda de reconstrucción, en relación con las otras categorías de demanda final. Como se mencionó en el *esquema de racionamiento*, se supone que la producción no dañada se asigna a las diferentes categorías de demanda final una vez satisfecha la demanda intermedia.

Una *matriz de capital* \mathbf{K} , es una matriz cuadrada donde cada elemento $[k(i,j)]$ denota la cantidad de bienes de capital producidos por el sector i

para aumentar la capacidad de producción del sector j en una unidad. Es decir, los elementos de la columna j representan la “receta” de la maquinaria, el equipo y otros bienes de capital necesarios para que el sector j incremente su productividad en una unidad, manteniendo constante el nivel de insumos y tecnología (Miller y Blair, 2009).

Debe recordarse que el proceso de recuperación requiere la reparación y reemplazo del stock de capital dañado y residencial. Durante este proceso, la capacidad de producción aumenta a través de la producción local y las importaciones asignadas a la inversión de reconstrucción. Nótese que la reconstrucción del capital residencial es a través del consumo de productos finales a los sectores de reconstrucción.

La inversión de capital para la reconstrucción, $\mathbf{K} * \Delta \mathbf{x}_{\text{cap}}^t$, se calcula como la participación de la demanda de reconstrucción entre la demanda final total, multiplicada por la producción restante después de satisfacer la demanda intermedia, $(\mathbf{x}_{\text{tp}}^t - \mathbf{A}\mathbf{x}_{\text{td}}^t)$, como se muestra en la ecuación (6):

$$\mathbf{K} * \Delta \mathbf{x}_{\text{cap}}^t = (\mathbf{x}_{\text{tp}}^t - \mathbf{A}\mathbf{x}_{\text{td}}^t) * \left(\mathbf{f}_{\text{cap}}^t / \left(\sum_k \mathbf{f}_k^0 + \mathbf{f}_{\text{rec}}^t \right) \right) \quad (6)$$

Cabe señalar que, en este caso, la inversión en restauración de capital industrial implica tanto los requerimientos técnicos de capital, por industria, desglosados en la *matriz de capital* \mathbf{K} , así como la cantidad de capacidad productiva que se añade al siguiente periodo ($\Delta \mathbf{x}_{\text{cap}}^t$).

Asimismo, se puede expresar la participación de las importaciones que invierten en la reconstrucción del capital, para estimar su contribución al aumento de la capacidad de producción durante el proceso de reconstrucción. Una vez que el monto de las importaciones designadas para la inversión de capital se determina, como en la ecuación (7), se puede obtener con facilidad la capacidad productiva restaurada mediante importaciones ($\Delta \mathbf{x}_{\text{m}}^t$).

$$\mathbf{K} * \Delta \mathbf{x}_{\text{m}}^t = \mathbf{m}^t * \left[\mathbf{f}_{\text{cap}}^t / \left(\sum_k \mathbf{f}_k^0 + \mathbf{f}_{\text{rec}}^t \right) \right] \quad (7)$$

Debe recordarse que la sumatoria $\sum_k \mathbf{f}_k^0$ representa la demanda final total de las categorías, k : hogares, gobierno, capital, exportaciones. Entonces, la inversión total en la restauración del capital de cada periodo es:

$$\mathbf{K} * \Delta \mathbf{x}^t = \mathbf{K} * (\Delta \mathbf{x}_{ip}^t + \Delta \mathbf{x}_m^t) \quad (8)$$

La multiplicación por la inversa de la *matriz de capital* proporciona la capacidad productiva industrial que se añade para el siguiente periodo, $\Delta \mathbf{x}^t = \Delta \mathbf{x}_{ip}^t + \Delta \mathbf{x}_m^t$.

Así, para el siguiente periodo, las posibilidades de producción de la capacidad industrial están dadas por la siguiente expresión:

$$\mathbf{x}_{cap}^{t+1} = \mathbf{x}_{cap}^t + \Delta \mathbf{x}^t \quad (9)$$

Esto permite reformular la función del vector \mathbf{f}_{rec}^t en términos de una *matriz de capital* de Leontief (\mathbf{K}). Al sustituir el término $\Delta \mathbf{x}^t$ en la ecuación (9), en términos de la *matriz de capital*, se obtiene la demanda total que la economía necesita en cada periodo durante el proceso de recuperación:

$$\mathbf{x}_{id}^t = \mathbf{A} \mathbf{x}_{id}^t + \sum_k \mathbf{f}_k^0 + \mathbf{f}_{hd}^t + \mathbf{K} \Delta \mathbf{x}^t \quad (10)$$

Una nueva iteración de este proceso comienza de nuevo y prosigue hasta que la demanda total y la producción total se encuentran en equilibrio y en el mismo nivel que antes del desastre.

Impacto económico total

Por último, el impacto económico total del evento (**tec**) es la suma de los costos directos (\mathbf{va}_{dir}) y los costos indirectos (\mathbf{va}_{ind}) generados durante cada periodo del proceso de recuperación, como se expresa en la ecuación (11). Los costos se miden en términos de valor agregado, que en el caso de los daños directos es igual al costo de reposición, a precios de mercado. Esto constituye la demanda total de recuperación, \mathbf{f}_{rec}^0 . Por otro lado, el costo indirecto se calcula como la acumulación de las diferencias entre el nivel de producción antes del desastre (\mathbf{x}^0) y la producción restringida después del desastre en cada periodo (\mathbf{x}_{ip}^t), lo cual es igual al término $(T(\mathbf{x}^0) - \sum_t \mathbf{x}_{ip}^t)$, donde, T es el tiempo estimado para la recuperación de la economía.

$$\mathbf{tec} = (\mathbf{va}_{\text{dir}} + \mathbf{va}_{\text{ind}}) = \mathbf{f}_{\text{rec}}^0 + \left(T(\mathbf{x}^0) - \sum_t \mathbf{x}_{\text{tp}}^t \right) \quad (11)$$

4. DATOS

Los datos necesarios para llevar a cabo el análisis mediante la metodología propuesta se pueden describir en dos grandes grupos. Por un lado, es necesario recabar información sobre las variables socioeconómicas de la región que recibió el impacto del huracán. El otro conjunto de información necesario es el de los daños ocasionados por el huracán. Se utiliza una escala de tiempo mensual en el análisis temporal, y una desagregación sectorial de 19 sectores económicos (véase la desagregación sectorial en la columna 1 del cuadro A1 en el Anexo). A continuación se detalla sobre los mismos.

Cabe aclarar que todos los datos son para el año 2010, y para el caso de los valores monetarios, están deflactados a precios de 2008.¹⁰

Datos económicos

Las variables económicas sobre las que se requieren datos son las siguientes: el acervo de capital, el acervo de vivienda, la demanda final, el empleo y el nivel de comercio interindustrial. La información se requiere a nivel regional (para el estado de Nuevo León) y cuando no está disponible a esta escala, se implementan técnicas estadísticas para la regionalización de los datos.

El acervo de capital, el empleo y la demanda final (o PIB) están disponibles a nivel regional. Las primeras dos variables se obtuvieron del Censo Económico de 2014 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI); el PIB se obtuvo del Banco de Información Económica (BIE). Mientras que el acervo de vivienda se obtuvo a nivel nacional del Censo de Población y Vivienda de 2010 del INEGI. Por último, las transacciones interindustriales que se utilizaron están contenidas en la matriz de insumo producto (MIP) nacional de 2008. Como parte de la metodología, se utilizó la técnica de coeficientes de localización aumentados de Flegg (AFLQ, por sus siglas en inglés) para regionalizar la matriz de coeficientes técnicos, a partir del empleo regional en relación con el empleo nacional. La distribución de la demanda final regional para el

¹⁰ Se eligió ese año por considerarse de mayor estabilidad económica respecto a 2010.

gasto de los hogares, gastos de gobierno, formación de capital, exportaciones e importaciones siguen la misma distribución que la nacional.

Información sobre los daños

El modelo requiere información sobre los daños al capital industrial, al capital residencial y a la infraestructura. Asimismo, se necesita información sobre las afectaciones a la capacidad productiva de la fuerza laboral, así como de los cambios en la demanda final.

Las estadísticas sobre daños al capital físico se obtuvieron del reporte *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República mexicana durante 2010* (CENAPRED, 2014), mismo que da cuenta de los daños a sectores sociales (vivienda, salud, educación e infraestructura hidráulica) por MXN\$7 275 millones; infraestructura económica (carreteras, generación de electricidad, naval y urbana) por MXN\$13 356 millones; sectores productivos (agricultura, ganadería y acuicultura, comercio y servicios) por MXN\$706 millones, y medio ambiente. Para los sectores industriales, se hizo una distribución de los daños basada en el tamaño de cada industria dentro de la economía regional. Dicha distribución puede consultarse en la columna 5 del cuadro A1 en el Anexo, en lo que se ha denominado vector de daño del evento (VDE).

En lo concerniente a las afectaciones a la productividad de la fuerza laboral y del consumo de los hogares, el carácter novedoso de la metodología impone la necesidad de datos que en ocasiones no están disponibles, como fue el caso de las afectaciones del huracán Alex. Para conciliar esta situación, se llevó a cabo un análisis de escenarios basados en los valores de otras variables. Respecto al caso de la afectación a la fuerza laboral, se consideró la proporción de la población afectada reportada, respecto de la población regional total, proporción que fue directamente aplicada a la proporción de la PEA en Nuevo León. Se supone también que esta población sufrió retrasos en el traslado a sus trabajos por un periodo de una hora, en el primer mes, y fue decreciendo linealmente durante seis meses hasta llegar a cero. Este parámetro adiciona incertidumbre. Para superar esta dificultad, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad, determinando la estabilidad del modelo y probando la robustez de los datos dado el escenario.

Mientras que en los cambios en la demanda final de los hogares se siguen patrones psicológicos, ya que se ha observado que después de un desastre, la población disminuye su consumo en bienes no básicos, con un compor-

tamiento de prevención. En este aspecto se asumió que dicha disminución ocurre sólo en la población afectada; se estima una disminución del 20% en los bienes no básicos con una recuperación lineal de cinco meses. También se llevó a cabo un análisis de sensibilidad respecto a este parámetro.

Los escenarios considerados son: *a)* la afectación al capital industrial sin afectación a la fuerza laboral ni a la demanda final, *b)* la afectación al capital industrial con afectación a la fuerza laboral (desequilibrios en los factores productivos), *c)* la afectación al capital industrial y a la demanda final, y *d)* la afectación al capital industrial, la fuerza laboral y la demanda final. En estos escenarios también se considera la afectación al capital residencial.

5. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados más relevantes del análisis. En la primera parte se aprecian los costos totales (directos e indirectos) ocasionados por los daños al capital industrial, residencial e infraestructura. La segunda parte expone los resultados de escenarios para probables valores de afectación a la capacidad productiva del trabajo, y al consumo de los hogares. Un análisis de sensibilidad comprueba la estabilidad del modelo.

Costos económicos totales para el estado de Nuevo León

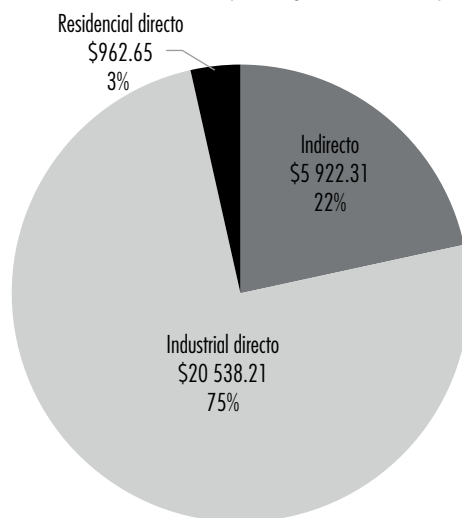
El PIB de la entidad en 2010 fue MXN\$855 mil millones (a precios de 2009), lo que representa alrededor de 0.73% del PIB nacional para ese año. Asimismo, se registraban cerca de 1 234 000 empleados en la región,¹¹ lo que constituye alrededor de 0.6% de la fuerza laboral total de México.

De acuerdo con el análisis, la economía de Nuevo León tardó cerca de 20 meses en recuperarse después del paso del fenómeno natural. Dentro del marco de la metodología propuesta, la recuperación se alcanza cuando la economía está de nuevo en equilibrio y cuando el nivel de producción es el mismo que antes del desastre. La cuantificación de la pérdida económica total asciende a MXN\$27 423 millones, lo que equivaldría a 3.2% del PIB estatal en ese año.

La gráfica 1 muestra la composición de los daños por categoría. Las pérdidas económicas directas (que están constituidos por los daños al capital indus-

¹¹ Personal ocupado total.

Gráfica 1. Distribución del daño por categoría (millones de pesos)



Fuente: elaboración propia con base en los resultados del modelo.

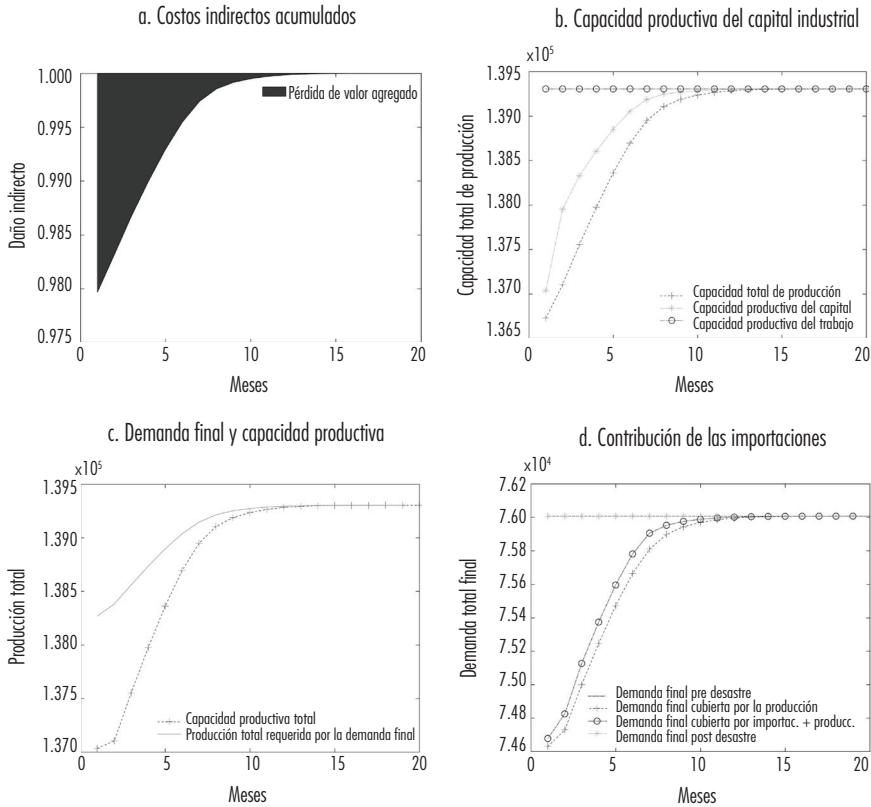
trial a la infraestructura de la ciudad y a los hogares) representaron 2.3% del PIB regional anual (MXN\$21 500 millones), de los cuales 95% corresponde a daños industriales y de infraestructura. La pérdida económica indirecta –que es la suma de todos los flujos de producción no realizados debido a las interrupciones de la productividad– representa una pérdida adicional equivalente a 1% del PIB del estado (MXN\$5 922 millones). Lo que significa que los daños indirectos fueron 28% adicional a los costos directos.

Recuperación económica

En esta sección se describen las trayectorias de las variables económicas involucradas en el proceso de recuperación, tales como la recuperación de la capacidad productiva de la industria, la participación de las importaciones en la recuperación, y la dinámica de la demanda final que incluye la demanda para reconstrucción.

La gráfica 2a representa el daño indirecto acumulado durante el proceso de recuperación, que se calcula como la distancia entre la demanda final satisfecha por la producción disponible en un periodo y el nivel anterior al desastre. Se puede apreciar que la disminución inicial de la capacidad productiva

Gráfica 2. Dinámica de las variables económicas durante el proceso de recuperación



Fuente: elaboración propia con base en los resultados del modelo.

es de 2% respecto al valor agregado de Nuevo León. La gráfica también muestra una recuperación rápida al principio, sobre todo en los primeros cinco meses, tiempo en que la economía se recuperó cerca de 95% de la capacidad productiva dañada. Sin embargo, la forma de la curva de recuperación está influenciada por el esquema de racionamiento elegido para el modelo, en el cual la demanda interindustrial y la demanda de recuperación se prioriza sobre el resto de la demanda final. Los resultados indican que para el periodo (mes) 15 el nivel de producción fue prácticamente igual al de antes del desastre; no obstante, existen desequilibrios en los mercados, por lo que el proceso continúa hasta el periodo 20.

La gráfica 2b muestra la dinámica de la recuperación de la capacidad productiva del capital, y su interacción con la capacidad productiva total. El retra-

so de la producción para seguir el ritmo de recuperación del capital industrial se debe a los efectos secundarios ocasionados por los desequilibrios a lo largo de las cadenas de producción en cada industria. La gráfica 2c ilustra los desequilibrios entre la oferta y la demanda. Y por último, la gráfica 2d muestra la aportación de las importaciones al proceso de recuperación.

Análisis sectorial

Una de las ventajas de la metodología que se implementó es que, dado que se circunscribe en el análisis de IP, es posible un análisis sectorial de los resultados, lo que permite analizar cómo se diseminan los efectos del choque a la economía a lo largo de las cadenas productivas. Esta característica de la metodología se vuelve conveniente para la planificación en la gestión de riesgo de inundaciones, así como para las políticas de adaptación.

La gráfica 3 presenta la distribución del impacto económico, dividido por daños directos e indirectos, en los 19 sectores productivos. Los daños —principalmente los directos— se concentran en los sectores relacionados con la infraestructura, es decir, el sector de Electricidad, Gas y Agua, y el sector del Transporte. Estos dos sectores concentran 81% del daño total del evento, que para los daños directos representa 93%, pero sólo 39% en cuanto a los daños indirectos.

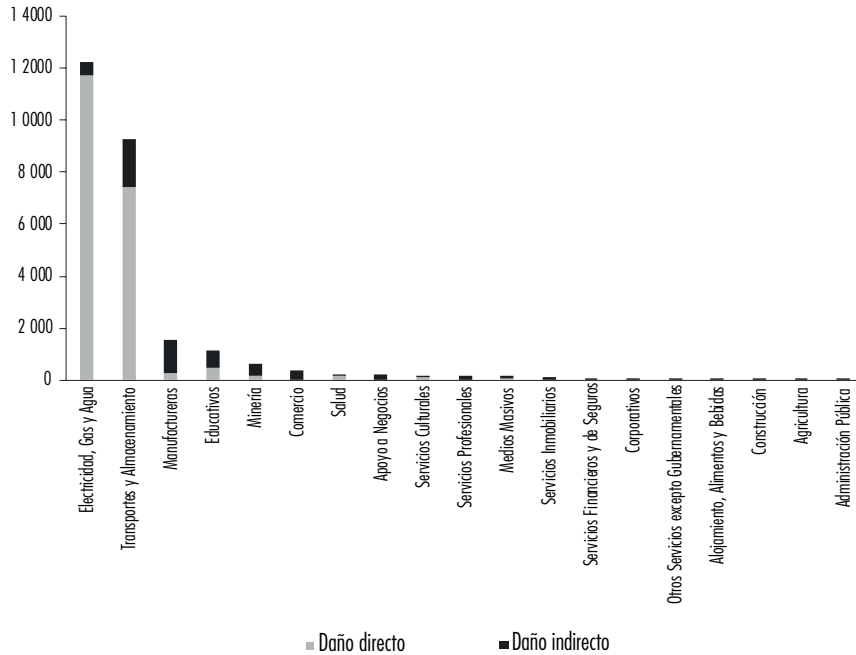
Asimismo, se observa que el resto de los sectores fueron afectados principalmente por los daños indirectos, a pesar de no haber sido alcanzados de forma directa por los efectos del huracán.

Las pérdidas directas en el sector más dañado, el de Electricidad, Gas y Agua, representan 57% de las pérdidas económicas directas totales; mientras que el sector que le sigue en daños directos (Transporte y Almacenamiento) aglutina 36% del rubro.

En cuanto a los sectores con mayores daños indirectos, es el del Transporte y Almacenamiento el que concentra la mayor parte, con 31% de los daños indirectos totales. Le sigue el sector de industrias manufactureras, cuyas pérdidas indirectas representan 22% del total.

Cabe señalar que los sectores de Transportes y Almacenamiento y el de Educación se encuentran entre los tres sectores más afectados de cada categoría, aunque la proporción de daños indirectos es mucho mayor para Educación (58%) que de Transporte y Almacenamiento (20%).

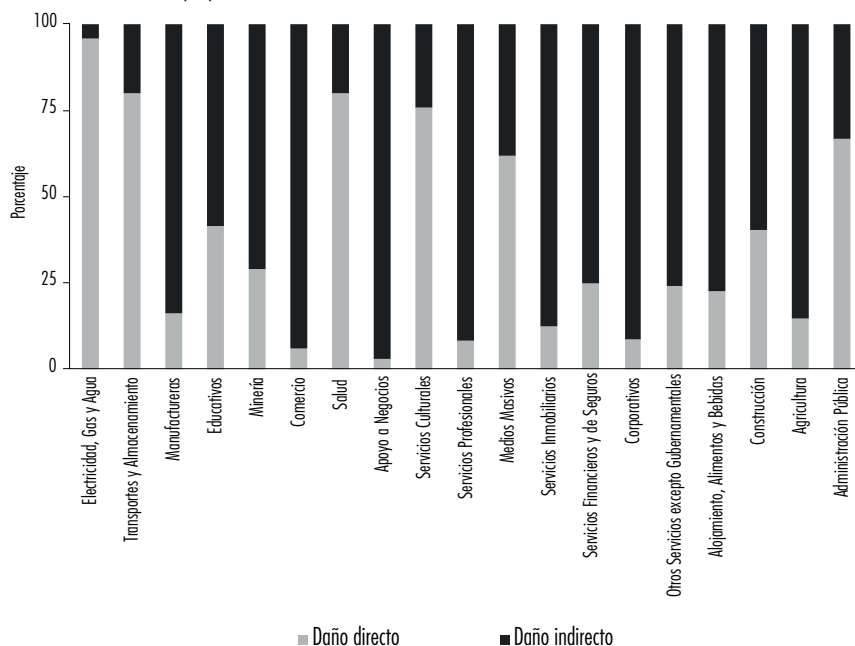
Gráfica 3. Distribución sectorial del impacto económico



Fuente: elaboración propia con base en los resultados del modelo.

La gráfica 4 permite un análisis más detallado de la distribución de los daños directos e indirectos por sector, independientemente del monto de los mismos. Esto permite saber cuáles son los sectores que proporcionalmente resultaron más afectados de forma indirecta. Son sobre todo los sectores de Servicios, que se encuentran al final de la cadena productiva, los que resultan más afectados indirectamente, como los sectores de Comercio, Apoyo a Negocios y Servicios Profesionales. También llama la atención la proporción de daños indirectos en los sectores primarios, como Agricultura, y el secundario, como Manufacturas. Lo anterior puede explicarse dado a los altos daños a la infraestructura de energía y transporte.

Gráfica 4. Distribución proporcional de daños



Fuente: elaboración propia con base en los resultados del modelo.

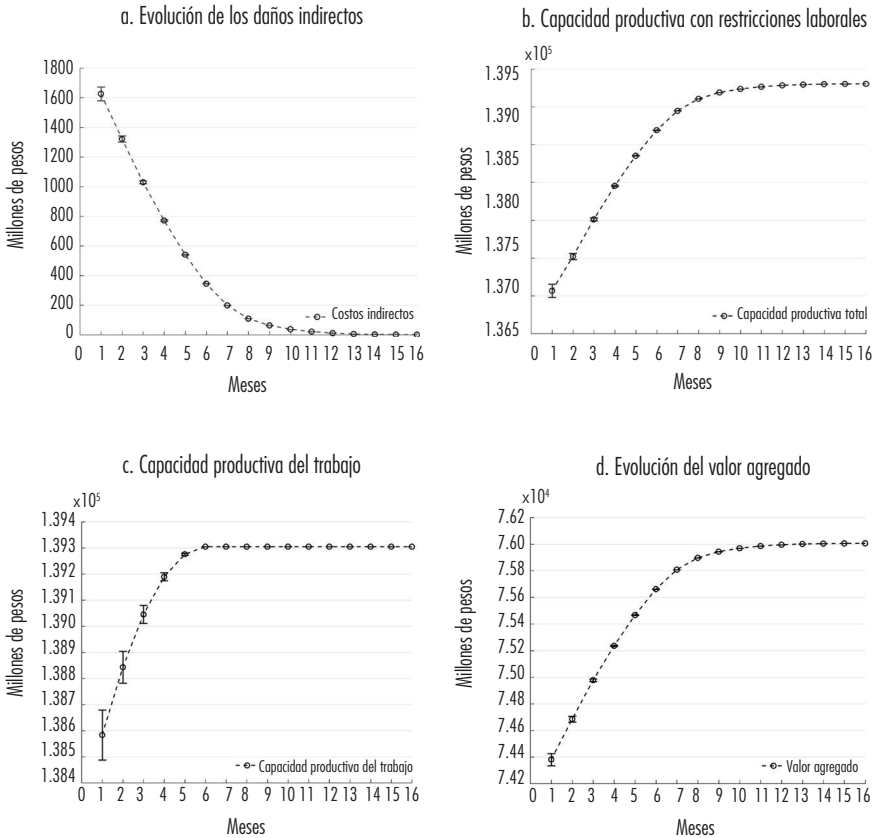
Análisis de escenarios y de sensibilidad

Se analiza el efecto de las afectaciones a los trabajadores y a los posibles cambios en la demanda final de los hogares. Para ello se emplearon valores hipotéticos basados en posibles escenarios, así como de acuerdo a la información de los reportes sobre los daños provocados por el huracán Alex en Nuevo León. Sin embargo, la información sobre estas variables es muy escasa, sobre todo de la forma que el modelo lo requiere, y se consideraron varios supuestos para la implementación.

En el caso de las afectaciones a la fuerza laboral, se tomó la proporción de gente afectada respecto a la población total, y esta misma proporción se aplicó a la población ocupada total para afectaciones que provocaron retrasos de traslado de hasta dos horas en el primer mes. Se modeló una recuperación lineal para cinco meses.

En el caso de los cambios en el consumo de los hogares, se tomó en cuenta el número total de población afectada. Se consideró una disminución de su

Gráfica 5. Análisis de daños por afectaciones a la fuerza laboral



Fuente: elaboración propia con base en los resultados del modelo.

consumo del 20% en productos no básicos, en el primer mes. Se modeló una recuperación lineal de cinco meses.

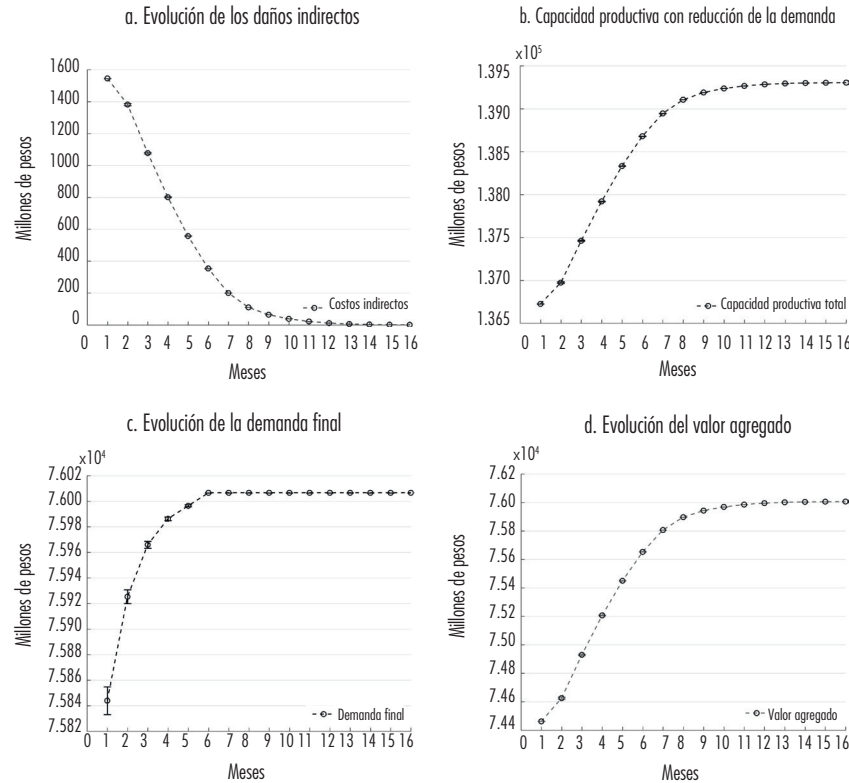
Los parámetros considerados son conservadores y se basan en datos reportados. Sin embargo, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad sobre los parámetros para comprobar la estabilidad del modelo y la robustez de los resultados. El análisis de sensibilidad considera la variación de los parámetros en $\pm 10\%$ respecto a los valores iniciales.

De la gráfica 5a a la 5d se muestran los valores de las diferentes variables a lo largo del proceso de recuperación. Las barras de error calculan la desviación estándar en cada punto del tiempo. El análisis de sensibilidad es para el escenario en el que la fuerza laboral es afectada, pero no la demanda final. En

este caso, el valor medio de los costos indirectos es de MXN\$6 086 millones de pesos, con una desviación estándar de \pm MXN\$80 (\pm 1.3%) millones, lo que representa un 3% adicional que sin considerar la disminución de productividad por afectaciones a la fuerza laboral.

La gráfica 6 muestra, por otro lado, el efecto de los cambios en la demanda final, pero sin variación en la fuerza laboral, con respecto a las variables de daños indirectos (véase gráfica 5a), para la producción total, dados los cambios de comportamiento de los consumidores finales (véase gráfica 5b), la evolución de la demanda final (véase gráfica 5c), y la evolución del valor agregado bajo este escenario (véase gráfica 5d). Los resultados revelan daños indirectos medios por un total de MXN\$6 172 millones, con una desviación estándar de \pm MXN\$15 millones (\pm 0.3%), y un incremento del 4% respecto al escenario base.

Gráfica 6. Análisis de daños por afectaciones a la demanda final



Fuente: elaboración propia con base en los resultados del modelo.

Finalmente, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad global. Es decir, variando todos los parámetros (para la fuerza laboral y la demanda final de hogares) a la vez. Los resultados muestran daños indirectos medios por un total de MXN\$6 636 millones, con una desviación estándar de MXN\$96 millones ($\pm 1.5\%$), que representa 7% respecto al escenario base. Véase un resumen de los resultados en el cuadro 1, donde el índice de amplificación de daños (IAD) indica cuánto costo económico indirecto implicó cada unidad monetaria de daño al capital productivo (o industrial).

Cuadro 1. Resumen de daños bajo diferentes escenarios

| <i>Escenario</i> | <i>Daños residenciales</i> | <i>Daños industriales directos</i> | <i>Daños indirectos</i> | <i>Daños totales</i> | <i>IAD (%)</i> |
|--|--------------------------------|--|-----------------------------|--------------------------|--------------------|
| 1. Daños directos al capital | \$962.65 3.51% | \$20 538.21 74.89% | \$5 922.31 21.60% | \$27 423.17 100.00% | 28.84 |
| 2. Daños directos industriales y laborales | \$962.65 3.49% | \$20 538.21 74.45% | \$6 086.48 22.06% | \$27 587.34 100.00% | 29.63 |
| 3. Daños directos industriales y reducción de demanda de hogares | \$962.65 3.48% | \$20 538.21 74.22% | \$6 172.15 22.30% | \$27 673.01 100.00% | 30.05 |
| 4. Daños directos industriales, laborales, y reducción demanda hogares | \$962.65 3.46% | \$20 538.21 73.78% | \$6 336.27 22.76% | \$27 837.13 100.00% | 30.85 |

Fuente: elaboración propia con base en los resultados del modelo.

6. CONCLUSIONES

En el presente artículo fueron analizados los costos totales de los daños provocados por el huracán Alex en el estado de Nuevo León en 2010. Para ello, se implementó una metodología de evaluación de tales daños, considerando sobre todo el desequilibrio en la capacidad productiva ocasionada por daños al capital industrial e infraestructura. El análisis muestra que, por cada peso de destrucción de inmuebles, equipo e infraestructura, se generaron pérdidas en la producción por casi 29 centavos adicionales, debido a las conexiones intersectoriales de la industria que son perturbadas después del desastre.

Asimismo, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad para medir los probables efectos de las afectaciones en la capacidad productiva de la fuerza laboral y de los cambios en los patrones de consumo. Los valores medios sugieren que una afectación a la fuerza laboral equivalente al 4.14% adicionan 0.8% a los daños indirectos. Una reducción del consumo en bienes no básicos del 20% de la población afectada representa 0.4% adicional en daños indirectos. Finalmente, un análisis considerando la variación de todos los parámetros permite calcular un daño indirecto cercano al 31% de lo ocasionado por daños a la industria.

Este análisis muestra la relevancia de los daños indirectos en los costos totales ocasionados por un desastre natural y revela cuáles son los sectores que fueron más afectados indirectamente, dada la destrucción física. Se evidenció que hay sectores industriales económicamente vulnerables a los desastres naturales de forma indirecta, incluso cuando no fueron directamente impactados por el fenómeno natural.

La investigación basada en esta metodología busca mejorar la eficiencia de las políticas de adaptación, para considerar la minimización de los costos indirectos. Asimismo, permite evaluar políticas públicas para la recuperación, con el análisis de distintos escenarios de asignación de recursos para la reconstrucción.

El carácter pionero de este estudio para desastres naturales en México enfrentó algunos retos. El principal fue la falta de datos de los daños directos y el nivel de agregación de los mismos. Estudios futuros prevén el desarrollo y la implementación de funciones de daños que permitan una evaluación más pronta y precisa de los costos económicos totales. Asimismo, se contempla el análisis de todas las regiones afectadas a nivel nacional para un mismo efecto, lo que permitirá mejores políticas de adaptación nacionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M. y Marengo Mogollón, H. (2016), "Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática", *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 7, núm. 5, México, septiembre-octubre.
- Bočkarjova, M., Steenge, A. y van der Veen, A. (2004), "On direct estimation of initial damage in the case of a major catastrophe: derivation of the basic equation", *Disaster Prevention and Management*, 13(4). DOI <<https://doi.org/10.1108/09653560410556555>>

- CENAPRED (2014), “Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2010”, en N. García Arróliga, R. Marín Cambrains, K. Méndez Estrada y R. Reyes Rodríguez (eds.), *Impacto socioeconómico de los desastres naturales*, México, Dirección de Análisis y Gestión de Riesgos, Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Cochrane, H. (1997), “Economic impact of a midwest earthquake”, *NCEER Bulletin*, vol. 11, núm. 1, Buffalo, New York, January.
- _____ (2004) “Economic loss: myth and measurment”, en M. Shinozuka, A. Rose y R. T. Eguchi (eds.), *Engineering and socioeconomic impacts of earthquakes: an analysis of electricity lifeline disruptions in the New Madrid Area*, Multidisciplinary Centre for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York, USA.
- Cole, S. (2003), “Protection, risk, and disaster in economic network”, en A. van der Veen, A. L. V. Arellano y J. P. Nordvik, (eds.), *Search of a common methodology for damage estimation*, Workshop Proceedings, Netherlands, Office for Official Publications of the European Communities, Joint NEDIES and University of Twente.
- Greenberg, M. R., Lahr, M. y Mantell, N. (2007), “Understanding the economic costs and benefits of catastrophes and their aftermath: a review and suggestions for the U.S. Federal Government”, *Risk Analysis*, vol. 27, núm. 1, marzo.
- Hallegatte, S. (2008), “An adaptive regional input-output model and its application to the assessment of the economic cost of Katrina”, *Risk Analysis*, vol. 28, núm. 3, junio.
- Hallegatte, S. y Przyluski, V. (2010), “The economics of natural disasters. Concepts and methods”, *Policy Research Working Paper*, núm. 5507. Recuperado de <<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/3991>>
- IPCC (2012), “Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the intergovernmental panel on Climate Change”, en C. B. Field, V. Barrios, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G. K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor y P. M. Midgley (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, USA, Cambridge University Press.
- Li, J., Crawford-Brown, D., Syddall, M. y Guan, D. (2013), “Modeling imbalanced economic recovery following a natural disaster using input-output Analysis”, *Risk Analysis*, vol. 33, núm. 10, octubre.

- Mendoza-Tinoco, D., Guan, D., Zeng, Z., Xia, Y. y Serrano, A. (2017), "Flood footprint of the 2007 floods in the UK: the case of the Yorkshire and the humber region", *Journal of Cleaner Production*, 168. DOI <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.016>>
- Miller, R. E. y Blair, P. D. (2009), *Input output analysis: foundations and extensions* (2 ed.), USA, Prentice-Hall.
- Okuyama, Y. (2007), "Economic modeling for disaster impact analysis: past, present, and future", *Economic Systems Research*, 19(2). DOI <<https://doi.org/10.1080/09535310701328435>>
- _____. (2009), "Critical review of methodologies on disaster impact estimation", *Background Paper to the Joint World Bank-UN Assessment on the Economics of Disaster Risk Reduction*. Recuperado de <https://www.gfdrr.org/sites/gfdrr/files/Okuyama_Critical_Review.pdf>
- Rose, A. Z. (2004), "Economic principles, issues, and research priorities in hazard loss estimation", en Y. Okuyama, y S. E. Chang (eds.), *Modelling spatial and economic impacts of disasters*, Berlin, Heidelberg New York, Springer-Verlag.
- Steenge, A. E. y Bočkarjova, M. (2007), "Thinking about imbalances in post-catastrophe economies: an input-output based proposition", *Economic Systems Research*, 19 (2). DOI <<https://doi.org/10.1080/09535310701330308>>
- Torres Navarro, I., Valdez Carrasco, I., Arévalo Pérez, B. N., Cruz Hernández, G., Ramírez Vázquez, R. y Ojeda González, J.C. (2010), *Huracán Alex en Nuevo León, la memoria. Riesgos, testimonios y acción social*, México, Secretaría de Desarrollo Social, Gobierno del Estado de Nuevo León.
- Triple E Consulting (2014), "Climate extremes. Defining a pilot approach on estimating the direct and indirect impacts on economic activity". Recuperado de European Commission.
- Veen, A. V. d. (2004), "Disasters and economic damage: macro, meso and micro approaches", *Disaster prevention and management*, 13 (4). DOI <<https://doi.org/10.1108/09653560410556483>>
- Veen, A. V. d. y Logtmeijer, C. (2003), "How vulnerable are we for flooding? a GIS approach", en A. van der Veen, A. L. V. Arellano y J. P. Nordvik (eds.), *Search of a Common Methodology for Damage Estimation*, Workshop Proceedings, Netherlands, Office for Official Publications of the European Communities: Joint NEDIES and University of Twente.

ANEXO

Cuadro A1. Desagregación sectorial de la información

| | <i>Capital Nuevo León (millones de pesos)</i> | <i>Participación por sector (%)</i> | <i>Daño al capital (millones de pesos)</i> | <i>Vector de daño del evento</i> |
|--|---|---|--|--|
| TOTAL DE LA ENTIDAD (NUEVO LEÓN) | 490 027.40 | | 20 538.21 | 0.04 |
| Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza | 25.86 | 0.00 | 2.35 | 0.09 |
| Minería | 1 971.05 | 0.00 | 178.87 | 0.09 |
| Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final | 121 687.96 | 0.25 | 11 722.01 | 0.10 |
| Construcción | 8 677.06 | 0.02 | 12.51 | 0.00 |
| Industrias manufactureras | 173 304.41 | 0.35 | 249.89 | 0.00 |
| Comercio | 15 236.34 | 0.03 | 21.97 | 0.00 |
| Transportes, correos y almacenamiento | 27 041.21 | 0.06 | 7 411.99 | 0.27 |
| Información en medios masivos | 65 048.98 | 0.13 | 93.80 | 0.00 |
| Servicios financieros y de seguros | 15 738.77 | 0.03 | 22.69 | 0.00 |
| Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles | 12 236.65 | 0.02 | 17.64 | 0.00 |
| Servicios profesionales, científicos y técnicos | 9 225.56 | 0.02 | 13.30 | 0.00 |
| Corporativos | 3 123.93 | 0.01 | 4.50 | 0.00 |
| Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación | 3 993.87 | 0.01 | 5.76 | 0.00 |
| Servicios educativos | 3 603.87 | 0.01 | 469.33 | 0.13 |
| Servicios de salud y de asistencia social | 7 794.29 | 0.02 | 162.15 | 0.02 |
| Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos | 4 452.72 | 0.01 | 125.13 | 0.03 |
| Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas | 5 005.34 | 0.01 | 7.22 | 0.00 |
| Otros servicios excepto actividades gubernamentales | 7 748.73 | 0.02 | 11.17 | 0.00 |
| Actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales | 4 110.80 | 0.01 | 5.93 | 0.00 |

Fuente: elaboración propia.