

## **Análisis de impacto económico multirregional de un desastre en México. El huracán Alex en el noreste del país en 2010**

### **Analysis of multiregional economic impact of a disaster in Mexico. Hurricane Alex in the northeast of the country in 2010**

Alfonso Mercado García\*, David Mendoza-Tinoco\*\* y Alba Verónica Méndez Delgado\*\*\*

---

#### **Información del artículo**

#### **Resumen**

---

Recibido:  
25 abril 2024

Aceptado:  
04 noviembre 2024

---

Clasificación JEL: C67,  
Q01,Q54

Palabras clave: análisis insumo-producto, huella de un desastre, impacto económico de los desastres, costos indirectos multirregionales.

El presente documento ofrece un estudio de las afectaciones del huracán Alex en México en 2010, considerado como el de mayor destrucción en México, en el medio siglo reciente. Para ello, se aplica una metodología basada en el análisis insumo-producto multirregional. Con el modelo se calculan los costos económicos directos e indirectos, tanto en la región de impacto del fenómeno, como en el resto del mundo. Los resultados del estudio muestran que los costos indirectos representan 20% de los costos totales y que, de tales costos indirectos, 15.6% ocurrió en el extranjero, principalmente en Estados Unidos, y 84.4% en el territorio nacional.

---

\* El Colegio de México, [amercado@colmex.mx](mailto:amercado@colmex.mx), <https://orcid.org/0000-0003-3789-5920>.

\*\* Universidad Autónoma de Coahuila, [d.mendoza@uadec.edu.mx](mailto:d.mendoza@uadec.edu.mx), <https://orcid.org/0000-0002-0974-4810>.

\*\*\* Universidad Autónoma de Coahuila, [albamendez@uadec.edu.mx](mailto:albamendez@uadec.edu.mx), <https://orcid.org/0000-0001-9958-1025>.

**Article information**

Received:  
25 April 2024

Accepted:  
04 November 2024

JEL Classification: C67,  
Q01,Q54

Keywords: input-product analysis, footprint of a disaster, economic impact of disasters, multi-region indirect costs.

**Abstract**

This document analyses the economic effects of Hurricane Alex in Mexico in 2010, considered the most destructive in Mexico in the recent half century. To do this, a methodology based on multi-regional input-output analysis is applied. With the model, direct and indirect economic costs are calculated, both in the region of impact of the phenomenon and in the rest of the world. The findings show that indirect costs represent 20% of total costs and that, out of such indirect costs, 15.6% occurred abroad, mainly in the United States, and 84.4% occurred in the national territory.

**Introducción**

Los desastres en general, y los relacionados con eventos naturales en especial, generan costos elevados a las economías impactadas. El aumento de eventos climatológicos extremos en el mundo se asocia al cambio climático ocasionado por la actividad de la economía. Estos eventos generan crecientes costos económicos en las regiones impactadas. Los costos económicos no se circunscriben al valor comercial de los bienes destruidos o dañados. La magnitud de dichos costos y su distribución dependen, entre otros factores, de la estructura socioeconómica (Bower, 2019; Dodd *et al.*, 2021).

Las imbricadas redes de los procesos económicos en la cadena de valor global diseminan los efectos negativos de los daños. Esto genera costos indirectos en los sectores vinculados a los directamente dañados, tanto en la misma región de impacto como en latitudes más allá de sus fronteras. El análisis de estos costos permite determinar la vulnerabilidad en las cadenas de valor. Es decir, los eventos climatológicos extremos que afecten la estructura productiva de una región tendrán efecto en otros sectores y en otras partes del mundo que no son directamente afectados. Su análisis permite evaluar políticas públicas para la recuperación, con la evaluación de distintos escenarios de asignación de recursos para la reconstrucción.

Es importante conocer cómo se originan y se distribuyen estos costos para un diseño más efectivo de políticas de adaptación, de manera que incorporen el alcance económico del impacto de dichos eventos (Mirza, 2003; Cavallo y Noy, 2011). El diseño de políticas de adaptación en un país

y a nivel internacional, ante el incremento de dichos eventos, necesita este tipo de estudios, ya que proporcionan información valiosa y representan una alternativa al paradigma tradicional de que las políticas de adaptación son diseñadas localmente (mientras que las de mitigación son principalmente globales).

El análisis del impacto económico de un desastre (AIED) tradicionalmente sólo calcula los costos directos. Son pocos aún los trabajos de AIED que cuantifican también los costos indirectos (Hallegatte, 2015). Los costos directos se originan por el daño del desastre en los bienes afectados (de consumo y de capital). Estos daños, adicionalmente, generan costos indirectos que se distribuyen a través de las cadenas económicas de valor, estableciendo restricciones en la capacidad productiva de los sectores económicos, contabilizándose como reducciones en la producción durante el tiempo que tarda en recuperarse la economía afectada (Kellenberg y Mushfiq Mobarak, 2011; Hallegatte y Przulski, 2010).

Este estudio aplica una metodología reciente (Mendoza-Tinoco, 2020, y Mendoza-Tinoco, Mercado-García y Guan, 2023), basada en el análisis de insumo-producto (AIP) multirregional, para modelar la reducción de la capacidad productiva de los factores primarios ante un desastre, así como los desequilibrios económicos generados. A partir de esta información se produce una alternativa de recuperación de la economía basada en un esquema de racionamiento productivo. Se presenta la aplicación de la metodología al caso del huracán Alex, considerado como el de mayor destrucción en México, en el medio siglo reciente, de 1970 a 2020.

Además de cuantificar los costos directos en términos de valor agregado, se calculan los costos indirectos, como la falta de producción ocasionada por la reducción de la productividad de los factores primarios durante el tiempo de recuperación productiva y las afectaciones en la cadena de valor global generadas mediante las conexiones intersectoriales internacionales. Un estudio previo a éste, sobre los daños del mismo huracán específicamente en el Estado de Nuevo León, calcula que 29% de los costos totales fueron indirectos (Mendoza-Tinoco, Méndez-Delgado y Mercado-García, 2019).

El principal objetivo del estudio es calcular el impacto económico producido por el huracán en los tres Estados más impactados (Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas), diferenciando entre los costos directos y los indirectos. El objetivo secundario es medir el impacto del desastre en los países socios comerciales de México, considerando los mecanismos

económicos de la cadena de valor global. Considerando estos objetivos, se plantean las siguientes hipótesis de trabajo:

- 1) Dado que el huracán impactó principalmente a Nuevo León, el cual es el Estado con la mayor economía y población de los tres, se espera encontrar que los costos indirectos agregados de los tres Estados equivalgan a un porcentaje menor pero cercano a 29% de los costos totales, el cual corresponde a dicho Estado.
- 2) Dados los vínculos comerciales y de inversión de México con Estados Unidos, especialmente de los tres Estados del estudio, los cuales son fronterizos con dicho país, se espera encontrar que un alto porcentaje de los costos indirectos en los países socios comerciales de México corresponde a Estados Unidos.

El documento se estructura en siete apartados. Después de esta introducción, el apartado 2 explica el marco conceptual del estudio. El apartado 3 da los pormenores metodológicos de los cálculos. El apartado 4 describe los antecedentes y la naturaleza del caso estudiado. El apartado 5 expone la naturaleza y las fuentes de los datos. El apartado 6 ofrece los principales resultados. El apartado 7 presenta una recapitulación y comentarios finales.

## **1. Marco conceptual de los costos de los desastres**

Los desastres relacionados con eventos climatológicos extremos han ido en aumento en las regiones del mundo, tanto en frecuencia como en intensidad (EMDAT, 2020). Eventos que tenían una probabilidad de ocurrencia de uno por cada cien o mil años, ahora ocurren cada 10, 5 o 2 años. Al mismo tiempo que se dan lluvias intensas que generan gran devastación en algunas regiones del planeta, hay sequías severas también devastadoras en otras regiones. Estos eventos extremos han generado pérdidas de vida humana, de biodiversidad y del acervo cultural de la humanidad, significando todo ello altos costos económicos (Pelling, Özerdem y Barakat, 2002).

El diseño de políticas públicas orientadas a minimizar los daños por los desastres necesita conocer la magnitud de tales daños y los mecanismos de su distribución hacia otros sectores o regiones, así como los puntos más vulnerables de la sociedad por las afectaciones directas e indirectas (Kousky, 2014; Hallegatte, 2016; Lu, Chen y Kuang, 2020). También las políticas de compensación por los daños y de remediación necesitan la información, el análisis y los resultados de estos estudios.

La ciencia económica cuenta con métodos para calcular el costo económico ocasionado por estos eventos. Aunque estos métodos dejan fuera unas dimensiones relevantes de los daños (como las pérdidas humanas o la pérdida de biodiversidad), constituyen una buena aproximación de la magnitud y la estructura del daño en la región impactada y, sobre todo, ayudan a la asignación de recursos para políticas y acciones de adaptación y gestión de riesgos (Dosi, 2001; Kousky, 2014; AG van Bergeijk y Lazzaroni, 2015).

Este trabajo se circunscribe en la estimación de los costos económicos a partir de la destrucción material generada por un evento natural. La destrucción de bienes duraderos, es decir, bienes inmuebles, bienes de capital y bienes de la infraestructura de una economía, genera costos directos para su reparación o reposición. Tradicionalmente, son estos costos los que se contabilizan para determinar el impacto económico de algún evento natural. Estos costos suelen calcularse con base en los precios de mercado de los bienes destruidos (Pelling *et al.*, 2002; Botzen, Deschenes y Sanders, 2020).

Adicionalmente, la destrucción afecta a los factores productivos. La destrucción de bienes de los hogares y de infraestructura restringen la productividad del factor trabajo, por retrasos en traslados o dificultades para las actividades cotidianas del hogar. Mientras que la afectación a los bienes de capital causa una reducción en la capacidad productiva del factor capital. Cabe mencionar que los daños a la infraestructura también generan reducciones en la capacidad productiva en cuanto al suministro de energía o la distribución de insumos.

El imbricado encadenamiento de los sectores productivos implica una fuerte dependencia entre proveedores y usuarios de insumos intermedios. En caso de reducción de la capacidad productiva de algún sector, tanto los sectores proveedores como los compradores en la cadena de valor también tendrán contracciones. A su vez, esto inducirá reducciones de los sectores vinculados con éstos. Y así sucesivamente. La suma de estos efectos negativos intersectoriales en la producción de la economía constituye el resto de los costos indirectos del evento. Y es eso lo que la metodología que se presenta pretende contabilizar (Li *et al.*, 2013; Hallegatte, 2015; Botzen *et al.*, 2020).

Recapitulando, los costos económicos directos se refieren a reducciones en el valor de una variable de *stock*, que es el acervo de capital y de bienes muebles e inmuebles. Por otro lado, los costos indirectos se refieren a la

reducción en el valor de una variable de flujo, que es la producción corriente durante el período de afectación.

En la bibliografía económica reciente, empieza a incorporarse el efecto que los desastres relacionados con eventos naturales pueden tener sobre el desarrollo. Es por ello cada vez más apremiante el diseño de políticas públicas hacia los desastres, con objetivos de adaptación al cambio climático y de desarrollo. Así, las afectaciones no son solamente relevantes para el desarrollo regional, sino también para el desarrollo global (Pelling *et al.*, 2002; McDermott, Barry y Tol 2014; Panwar y Sen, 2019).

## 2. La metodología del estudio

El objetivo del estudio es calcular los daños derivados de un desastre. Se necesita cuantificar cómo el choque económico de un evento climático extremo genera costos que se transmiten y se propagan a las economías de varias regiones. El procedimiento es el de un AIED multirregional que incluye costos directos e indirectos, es decir, la Evaluación Multirregional de la Huella de un Desastre (EMHD). La EMHD es un AIED multirregional que considera los costos indirectos ocasionados más allá de las fronteras de México (Mendoza-Tinoco *et al.*, 2023)<sup>1</sup>.

Primero, se evalúan los costos económicos de los daños físicos derivados de un desastre. Posteriormente se incorporan diversos elementos del AIED en un modelo integrado. Estos elementos incluyen la dimensión multirregional del análisis, la recuperación dinámica del tiempo, la transición de la inversión en recuperación de capital hacia la recuperación de la capacidad productiva, y los efectos de los daños residenciales. Con la integración de dichos elementos se busca evaluar el impacto económico total de los desastres naturales, considerando los efectos en cascada en las regiones y países a lo largo del tiempo.

En principio, la metodología es potencialmente aplicable a un desastre asociado a un fenómeno natural u otro tipo de desastre. Siempre que un choque negativo a la economía destruya parte de la capacidad productiva, la EMHD podría ser aplicado para conocer los costos económicos totales de dicho evento.

---

<sup>1</sup> Se utiliza el término Evaluación Multirregional de la Huella del Desastre, como interpretación del término *Multirregional Flood Footprint* desarrollado por Mendoza-Tinoco *et al.* (2023).

A continuación, se presentan los fundamentos para modelar la evaluación. Posteriormente, se detalla el proceso de recuperación, que en este caso supone un racionamiento específico, donde las relaciones interindustriales son prioritarias. Luego, se explican los procedimientos para considerar la recuperación económica después del desastre, el racionamiento de la producción disponible luego del evento, la afectación en la matriz de capital, el impacto en las importaciones y el impacto en toda la economía.

## 2.1 Fundamentos de la modelación

Este estudio se basa el AIP porque permite hacer un análisis regional, calcular los efectos indirectos y medir los daños en un escenario de desequilibrio económico provocado por el evento climático. En seguida, se presenta el modelo básico del AIP, a partir de Miller y Blair (2009)<sup>2</sup> y, luego, sus extensiones para la EMHD.

### a) El modelo básico del AIP

Las transacciones interindustriales de la economía se organizan en un sistema de ecuaciones lineales y se pueden presentar en un arreglo matricial de la siguiente forma:

$$x = Ax + f \quad (1)$$

Donde  $x$  es un vector-columna de dimensión  $n \times 1$  ( $n$  es el número de sectores) que representa la producción total de cada sector<sup>3</sup>.

$Ax$  representa el vector de demanda intermedia, donde cada elemento de la matriz  $A$  ( $[a_{ij}]$ ) es el coeficiente técnico que indica la cantidad del producto  $i$  necesario para producir una unidad del producto  $j$ . Cabe

---

<sup>2</sup> El modelo, desarrollado por el economista ruso Wassily Leontief, incorpora en el análisis el flujo circular de la economía: en cada industria, los insumos se procesan para producir bienes y servicios, los cuales sirven a su vez de insumos a otras industrias a lo largo de la cadena productiva, y que, en el agregado, conforman el proceso de producción de bienes y servicios para la demanda final. Esta demanda final efectiva, equivalente al producto interno bruto (PIB), está constituida por el consumo privado de las familias, la formación bruta de capital fijo o inversión bruta, el gasto de gobierno y las exportaciones netas (exportaciones menos importaciones).

<sup>3</sup> Los vectores se denotan con letras cursivas minúsculas y en negritas. Las matrices se representan con letras mayúsculas y en negritas. Los escalares con letras mayúsculas.

destacar que la matriz  $A$  es una matriz simétrica de dimensión  $n \times n$ , industria a industria<sup>4</sup>.

Por último,  $f$  indica el vector de la demanda final de cada industria y tiene dimensión  $n \times 1$ .

Se considera que la economía está en equilibrio, con pleno empleo de los factores productivos, en la siguiente ecuación que contiene todas las transacciones intermedias de bienes y de requerimientos de mano de obra por sector:

$$[A \ f / l \ l' \ 0][x \ l] = [x \ l] \quad (2)$$

Donde  $l'$  es un vector renglón de coeficientes técnicos de cada industria  $\left(\frac{L(i)}{x(i)}\right)$ , que muestra la cantidad de trabajo (en número de trabajadores)  $(L(i))$ , necesaria para producir una unidad de producto  $(x(i))$ , en la industria  $i$ . Finalmente,  $l$ , es un escalar que representa el número total de trabajadores en la economía.

#### b) Extensiones para la EMHD

Después de un choque negativo a la economía, como el provocado por algún desastre natural, es lo común que los mercados presenten desequilibrios, y esto genera brechas entre una oferta que se reduce por las perturbaciones a la capacidad productiva de la industria y la fuerza laboral, y alteraciones en la demanda por cambios en los patrones de consumo ante la emergencia. También se generan cambios en la demanda producidos por la nueva necesidad de destinar recursos a bienes de reconstrucción.

La capacidad productiva del capital industrial se ve contraída después del desastre. Y la proporción del daño a cada sector está dada por el Vector de Daños (VD) al capital  $(\Gamma_{cap}^t)$ , el cual se obtiene directamente de la información sobre los daños causados a la infraestructura industrial de la región impactada. Esta información se debe transformar como proporción del capital industrial de la región, para determinar, finalmente, cuál será la proporción de capacidad productiva que permanece después del desastre. Esta proporción se va reduciendo en el proceso de recuperación

---

<sup>4</sup> Se utiliza la notación  $(ij)$ , para denotar pertenencia al sector renglón  $i$ , y el sector columna  $j$ . Debido a la existencia de subíndices que denotan características de la variable, y que pudiera causar confusión.



que se detalla más adelante. Entonces, la capacidad productiva del capital, en cada período se define como

$$x_{cap}^t = (I - \Gamma_{cap}^t) * x^0$$

Entonces, después de considerar las restricciones del capital y el trabajo, la capacidad total de la producción, en cada período de tiempo  $t$ , es proporcional al mínimo de ellas,  $x_{tp}^t$ <sup>5</sup>. Esto se debe a la estructura misma de las funciones de producción consideradas dentro del AIP, conocidas como funciones de complementos perfectos:

$$x_{tp}^t = \min \{x_{cap}^t, x_l^t\} \quad (3)$$

Donde  $x_{cap}^t$  es la capacidad productiva del capital en el tiempo  $t$ , y  $x_l^t$  es la capacidad productiva del trabajo en el tiempo  $t$  de la recuperación.

Por otro lado, la demanda total en cada período durante la recuperación, en cada sector, considera las necesidades de insumos de dicho sector,  $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_{td}^t(j)$ , más la demanda final. Aquí, el subíndice  $td$ , en la variable  $x_{td}^t$ , indica demanda total.

La demanda final durante el tiempo de recuperación,  $f_{rec}^t(i)$ , además de la demanda final adaptada para cada sector al tiempo  $t$ ,  $f^t(i)$ , incluye el gasto en los bienes de capital necesarios para la reconstrucción,  $f_{cap}^t(i)$  (ecuación (4)).

Entonces, la expresión para la demanda total del sector  $i$ , al tiempo  $t$ , es de la siguiente forma:

$$x_{td}^t(i) = [\sum_{j=1}^n a_{ij}x_{td}^t(j)] + f_{rec}^t(i) \quad (4)$$

Donde

$$f_{rec}^t(i) = \sum_k f_k^t(i) + f_{cap}^t \quad (4.1)$$

Donde la sumatoria  $\sum_k f_k^t(i)$  representa la demanda final total, de las categorías,  $k$ : hogares, gobierno, capital, exportaciones, en cada período,  $t$ , durante la recuperación.

---

<sup>5</sup> El subíndice  $tp$  es indicativo de producción total. El superíndice  $t$ , en ésta y las demás variables, indica el valor en el mes correspondiente durante la recuperación.

La forma en que la demanda para la restauración se convierte en capacidad productiva está dada por la incorporación de la matriz de capital, que justamente señala las proporciones necesarias de los sectores clave para la generación de una unidad adicional de capacidad productiva por sector.

## 2.2 La recuperación económica después de un desastre

La forma de utilizar los recursos restantes, para alcanzar las condiciones anteriores al desastre, se modela siguiendo un esquema de racionamiento.

Primero se determina la capacidad de producción disponible en cada período posterior al desastre,  $x_{tp}^t$ . En el contexto del análisis de Leontief, la capacidad productiva está determinada por el mínimo de cada factor productivo (capital y trabajo), como en la ecuación (3).

Como segundo paso, la capacidad productiva restringida se compara con la demanda para determinar la estrategia de asignación de los recursos restantes y para la planificación de la reconstrucción. Se asume que existe una relación más fuerte entre empresas, por lo que se modela un esquema de prioridad a la demanda intermedia,  $Ax_{tp}^t$ , y lo que resta se utiliza para la demanda final, que incluye la demanda para reconstrucción, como en la expresión siguiente:

$$(x_{tp}^t - Ax_{tp}^t) * (f_{rec}^t / (f^0 + f_{rec}^t))$$

Las reglas de este proceso constituyen lo que se llama el esquema de racionamiento.

## 2.3 Escenarios de racionamiento de priorización proporcional

Se utilizó un esquema de racionamiento de priorización proporcional que asigna primero la producción restante entre la demanda interindustrial ( $Ax_{tp}^t$ ) que se requiere después del desastre en cada período durante el proceso de recuperación,  $t$ , y luego se enfoca en las categorías de demanda final de forma proporcional a la distribución previa al desastre. Se sigue el razonamiento de que las empresas guardan una relación prioritaria y más estable con sus proveedores antes que con los consumidores finales.

Definiendo  $o^t(i) = \sum_j a(ij)x_{tp}^t(j)$  como la producción requerida en la industria  $i$  para satisfacer la demanda intermedia de las otras industrias, pueden surgir dos posibles escenarios después del desastre.

### a) Primer escenario

El primer escenario ocurre si  $x_{tp}^t(i) < o^t(i)$ , en cuyo caso la producción disponible de la industria  $i$  en el tiempo  $t$  en la situación post-desastre ( $x_{tp}^t(i)$ ) no puede satisfacer siquiera 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 vería limitada al nivel de producción  $\frac{x_{tp}^t(i)}{o^t(i)} x_{tp}^t(j)$ , donde  $\frac{x_{tp}^t(i)}{o^t(i)}$  es la proporción en que se restringe la producción en la industria  $j$ , ( $x_{tp}^t(j)$ ). La producción en el sector  $j$  será proporcional a la mayor de las restricciones; es decir, al menor de los coeficientes  $\frac{x_{tp}^t(i)}{o_i^t(i)}$ . Ello 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.

Este proceso se lleva a cabo de forma iterativa, de tal manera que esta situación conduce a un equilibrio parcial, donde se define  $Ax_{tp}^{t*}$  como el nivel de la demanda intermedia adaptada.

El asterisco en  $x_{tp}^{t*}$  representa la capacidad de producción adaptada que proporciona el equilibrio parcial y es menor que la capacidad de producción disponible ( $x_{tp}^t$ ). Ello continúa hasta que la producción total disponible en cada momento ( $x_{tp}^t(i)$ ) pueda satisfacer la demanda intermedia en el tiempo  $t$ ,  $o^t(i)$ . A partir de este punto, el racionamiento se hace de forma análoga al siguiente caso.

Cabe mencionar que este primer escenario sólo ocurre cuando el choque a la economía ha sido de tal magnitud que alguna(s) de las empresas no son capaces de satisfacer siquiera la demanda intermedia.

### b) Segundo escenario

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

### c) Los dos escenarios

En los dos escenarios, la producción restante después de satisfacer la demanda intermedia se asigna a la demanda de recuperación y la demanda final adaptada de los sectores industriales. Cabe mencionar que los escenarios dependen del daño a cada sector, es decir, puede darse el caso a) en un sector que haya sufrido un daño severo y su capacidad productiva no sea suficiente para satisfacer las necesidades de otras industrias que dependen de sus insumos. Al mismo tiempo, el escenario b) se daría en sectores que no fueron muy afectados, y su capacidad productiva es suficiente para satisfacer su demanda intermedia, y tiene un remanente para ser repartido entre sus consumidores finales.

Adicionalmente, se modela cómo un supuesto que parte de la demanda final insatisfecha estará cubierta por las importaciones.

## 2.4 La matriz de capital en el AIED

La matriz de capital es un elemento del AIP que permite determinar la inversión que un sector necesita hacer en otros sectores para incrementar en una unidad su capacidad productiva. En el AIED, se considera el proceso de la inversión en restauración para incrementar la capacidad productiva perdida, como una variable exógena que permite planificar la recuperación.

De manera formal, 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.

La inversión de capital para la reconstrucción,  $\mathbf{K} * \Delta x_{cap}^t$ , se calcula como la participación de la demanda en bienes de capital para la reconstrucción ( $f_{rec}^t$ ) entre la demanda final total, multiplicada por la producción restante después de satisfacer la demanda intermedia,  $(x_{tp}^t - Ax_{td}^t)$ . El término  $f_{rec}^t / (f^0 + f_{rec}^t)$  representa una "división punto" o la división elemento a elemento del vector columna vector  $f_{rec}^t$ , y el vector columna  $(f^0 + f_{rec}^t)$ . A su vez, este vector de proporciones se multiplica, elemento a elemento, por el vector columna  $(x_{tp}^t - Ax_{td}^t)$ . El elemento resultante,  $\mathbf{K} * \Delta x_{cap}^t$ , es un vector columna como se muestra en la ecuación (5):

$$\mathbf{K} * \Delta x_{cap}^t = (x_{tp}^t - Ax_{td}^t) * (f_{rec}^t / (f^0 + f_{rec}^t)) \quad (5)$$

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  $\mathbf{K}$ , como la cantidad de capacidad productiva que se añade al siguiente período ( $\Delta x_{cap}^t$ ).

## 2.5 Impacto del desastre en las importaciones

Por otro lado, se supone que, ante la emergencia ocasionada por un desastre, una parte de las importaciones se destinará al proceso de reconstrucción. Se puede expresar, entonces, la participación de las importaciones que se 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 (6), se puede obtener fácilmente la capacidad productiva que ha sido restaurada mediante importaciones ( $\Delta x_m^t$ ).

$$K * \Delta x_m^t = m^t * (f_{rec}^t / (\sum_k f_k^0 + f_{rec}^t)) \quad (6)$$

Debe recordarse que la sumatoria  $\sum_k f_k^0$  representa la demanda final total de las categorías,  $k$ : hogares, gobierno, capital, exportaciones, en la situación previa al desastre<sup>6</sup>. Es decir, las importaciones tienen una participación proporcional a la demanda por reconstrucción del capital. Entonces, la inversión total en la restauración del capital de cada período es:

$$K * \Delta x_{tp}^t = K * (\Delta x_{cap}^t + \Delta x_m^t) \quad (7)$$

La multiplicación por la inversa de la matriz de capital proporciona la capacidad productiva industrial que se añade para el siguiente período,  $\Delta x_{tp}^t = \Delta x_{cap}^t + \Delta x_m^t$ . Así, para el siguiente período, las posibilidades de producción de la capacidad industrial (el factor capital) están dadas por la siguiente expresión:

$$x_{cap}^{t+1} = x_{cap}^t + \Delta x_{tp}^t \quad (8)$$

Esto permite reformular la función del vector  $f_{cap}^t$  en términos de una matriz de capital de Leontief ( $\mathbf{K}$ ). Al sustituir el término  $f_{cap}^t$  por el término  $K \Delta x_{tp}^t$  de la ecuación (4), en términos de la matriz de capital, y se obtiene

<sup>6</sup> El subíndice 0 indica el valor de la variable en la situación previa al desastre.

la demanda total que la economía necesita en cada período durante el proceso de recuperación, como se muestra en la ecuación (9).

$$x_{td}^t = Ax_{td}^t + \sum_k f_k^t + K\Delta x_{tp}^t \quad (9)$$

Estas expresiones generan, por un lado, la capacidad productiva del factor capital<sup>7</sup> y por el otro, la demanda de producción necesaria en cada período durante el proceso de recuperación, cerrando tanto la brecha de los desequilibrios entre oferta y demanda, como la brecha entre la producción actual y la previa al desastre. Una siguiente iteración de este proceso comienza nuevamente y prosigue hasta que la demanda y la producción totales se encuentren en equilibrio y en el mismo nivel que antes del desastre.

## 2.6 Impacto económico total

Finalmente, el impacto económico total del evento (**iet**) es la suma de los costos directos ( $va_{dir}$ ) y los costos indirectos ( $va_{ind}$ ) generados durante cada período del proceso de recuperación, como se expresa en la ecuación (10).

$$iet = va_{dir} + va_{ind} = f_{rec}^0 + (Tx^0 - \sum_t x_{tp}^t) \quad (10)$$

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,  $f_{rec}^0$ .

Adicionalmente, los costos indirectos se calculan como la acumulación de las diferencias entre el nivel de producción antes del desastre ( $x^0$ ) y la producción restringida después del desastre en cada período ( $x_{tp}^t$ ), lo cual es igual al término  $(Tx^0 - \sum_t x_{tp}^t)$ , donde,  $T$  es un escalar que indica el tiempo estimado para la recuperación de la economía. Este se contabiliza como el número de períodos (iteraciones) que tardan las variables, producción total ( $x_{tp}$ ), demanda total ( $x_{td}$ ), capacidad productiva del capital ( $x_{cap}$ ) y del trabajo ( $x_l$ ), para regresar a su nivel previo al desastre, y se eliminan los desequilibrios entre ellas.

---

<sup>7</sup> La capacidad productiva del factor trabajo se modela de manera exógena a partir de parámetros de recuperación basados en información de los reportes de cada desastre. Algunos parámetros son endógenos, como la recuperación de la infraestructura de transporte.

En esta versión unirregional del modelo, la estimación de los costos indirectos sólo considera a la región impactada. Sin embargo, un desarrollo posterior a la metodología considera los impactos a otras regiones, divididas en este caso por países, y que se distribuyen principalmente a través de las transacciones interindustriales globales, y de comercio internacional. Para esta versión multirregional del modelo, se incorpora un cuadro multirregional de insumo-producto para tomar en cuenta los efectos mencionados.

### 3. Los datos

El modelo utiliza dos conjuntos de datos. El primero se refiere a la estructura socioeconómica de la región impactada y el segundo, a las características del desastre y su impacto destructivo directo. Los datos son de 2010, y cuando son valores monetarios, están en millones de dólares a precios de dicho año. La temporalidad de la información es mensual, lo que implica que para las variables de la matriz de insumo-producto, los valores se dividen entre 12 para considerar su valor mensual medio.

#### 3.1 Datos económicos

La principal fuente de información estadística es la Base de Datos de Insumo Producto Mundial (WIOD por las siglas en inglés de World Input Output Database), en la versión que se distribuyó en 2013, y comprende datos para el período de 1995 a 2011. Se consideraron sólo los datos para 2010. La información está acomodada en una matriz multirregional de 40 países y una región “resto del mundo”. Además, esta base de datos desagrega la actividad económica en 35 sectores productivos.

Para regionalizar la información estadística en los tres estados considerados, se utilizaron datos del censo económico de 2014 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), sobre el acervo de capital, y el empleo. Para el caso de la vivienda, se utilizaron los tabulados de Acervos de Capital por Entidad Federativa del INEGI, con año base 2013 y homologados al 2010<sup>8</sup>. En cuanto a la demanda final, o el PIB, se utilizó información del Banco de Información Económica.

---

<sup>8</sup> Obtenido del INEGI:

<https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/default.aspx?pr=36&vr=1&in=4&tp=20&wr=1&cno=2&idrt=110&opc=t>

En el modelo multirregional se considera la proporción del daño en la región, con relación al capital. Es decir, el vector de daños se obtiene de estimar el nivel de capital industrial dañado en los tres Estados como una sola región, como proporción del capital nacional (con base en los datos del censo económico). Esta proporción se aplica a los datos de *stock* de capital de la WIOD. Con esto se evita tener que homologar por unidades monetarias. Así, se extrapola el daño regional a un daño nacional, y con ello se lleva a cabo la estimación de interrupciones en los flujos ya de México (y no de la región), con el resto de los 44 países y región resto del mundo (es decir, aprovechando la estructura de la matriz multirregional).

Para la relación entre sectores del INEGI y de la WIOD se hizo una matriz de concordancia, de 19 sectores a 35. Para los sectores que se desagregaron se ponderó por el peso del capital correspondiente a la base de la WIOD, bajo el supuesto de un mayor capital expuesto ante los desastres para aquellos sectores con valores más altos.

Finalmente, se adoptó el supuesto de que la demanda final en los tres Estados del estudio tiene la misma distribución que la nacional (entre el gasto de los hogares, el gasto del gobierno, la formación de capital, las exportaciones y las importaciones).

### **3.2 Datos de los años**

La principal fuente de datos de los daños al capital físico, ocasionados por el huracán, provienen del reporte 'Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana durante 2010', generado por CENAPRED (2012). Se consideró principalmente el daño al capital físico, distinguiendo entre el capital industrial (productivo) y el capital residencial. Para el capital residencial, se consideró la información generada por el reporte mencionado, y que se puede apreciar en la tabla 1.

Este monto, después de transformarse en las unidades monetarias correspondientes, se incorporó como proporción de capital físico a ser restituido durante el proceso de recuperación. Cabe señalar que para ello se consideraron las proporciones y extrapolaciones siguientes. De acuerdo con datos del INEGI, el capital en vivienda corresponde al 47.07 por ciento del capital físico total.

Después, se hizo una extrapolación por la proporción de capital residencial correspondiente a la región de análisis, y que corresponde al 9.92 por ciento respecto al nacional. Finalmente, se calculó la proporción



dañada de acuerdo con los datos de la tabla 1, que resultó en el 3.85 por ciento de daños en viviendas.

Cabe mencionar que para este estudio se omitieron los efectos de las interrupciones laborales y el cambio de comportamiento en el consumo final debido a la falta de datos, y a que el análisis de sensibilidad, que este equipo de investigación llevó a cabo, mostró resultados altamente reactivos a dichos parámetros.

**Tabla 1**  
**Resumen de daños ocasionados por el Huracán Alex en 2010 (miles de pesos)**

Concepto	Tamaulipas		Nuevo León		Coahuila	
	Total	% estatal	Total	% estatal	Total	% estatal
<b>Infraestructura social</b>						
Vivienda	102,379	4.9	962,647	4.5	378,699	26.5
Salud	30,700	1.5	65,622	0.3	38,000	2.7
Educación	16,498	0.8	469,330	2.2	5,552	0.4
Infraestructura hidráulica	178,212	8.5	5,777,468	26.9	101,194	7.1
<i>Subtotal</i>	<i>327,790</i>	<i>15.6</i>	<i>7,275,069</i>	<i>33.8</i>	<i>523,446</i>	<i>36.7</i>
<b>Infraestructura económica</b>						
Comunicaciones y transportes	406,400	19.3	7,411,985	34.5	366,237	25.6
Infraestructura eléctrica	71,691	3.4	332,517	1.5	95,724	6.7
Infraestructura naval	5,814	0.3	---	---	---	---
Infraestructura urbana	136,821	6.5	5,612,025	26.1	63,344	4.4
<i>Subtotal</i>	<i>620,728</i>	<i>29.5</i>	<i>13,356,528</i>	<i>62.1</i>	<i>525,306</i>	<i>36.7</i>
<b>Sectores productivos</b>						
Agricultura, ganadería y acuicultura	1,022,707	48.7	181,214	0.8	330,870	23.0
Turismo	---	---	58,550	0.3	---	---
Comercio y Servicios	14,489	0.7	466,390	2.2	31,675	2.2
<i>Subtotal</i>	<i>1,037,197</i>	<i>49.4</i>	<i>706,155</i>	<i>3.3</i>	<i>362,546</i>	<i>25.2</i>
<b>Otros sectores</b>						
Atención de la Emergencia	60,129	2.9	96,523	0.4	19,055	1.3
Medio ambiente	55,794	2.7	66,581	0.3	---	---
<i>Subtotal</i>	<i>115,923</i>	<i>5.5</i>	<i>163,104</i>	<i>0.8</i>	<i>19,055</i>	<i>1.3</i>
<b>Total</b>	<b>2,101,639</b>	<b>100.0</b>	<b>21,500,857</b>	<b>100.0</b>	<b>1,430,354</b>	<b>100.0</b>

Fuente: CENAPRED (2012).

## 4. El caso estudiado

La metodología explicada en la sección correspondiente se aplica para el estudio de la afectación del huracán Alex en el noreste de México, en 2010. Se selecciona este evento porque ha sido uno de los más catastróficos en los últimos 50 años. La devastación del huracán impactó a los factores productivos y la infraestructura de la región. El estudio de un desastre asociado a este tipo de fenómenos meteorológicos es relevante porque éstos son los que más afectan a México.

### 4.1 Descripción del caso

Las características hidrográficas y la distribución geográfica de grandes aglomeraciones urbanas en zonas de riesgo hacen al país altamente vulnerable a estos fenómenos naturales. En junio de 2010, el huracán Alex impactó principalmente a Monterrey, Nuevo León, la cual es la segunda zona metropolitana más grande del país, en términos de población y del producto interno bruto (PIB). Los otros Estados más afectados fueron Tamaulipas y Coahuila.

En dicho año, Nuevo León era el cuarto Estado más habitado de los 32 que conforman la República Mexicana, superado por el Estado de México, la Ciudad de México y Jalisco. Su participación en el total nacional de la población era 4.1%. La participación de Coahuila era 2.45% y la de Tamaulipas, 2.91%. Además, Nuevo León era el tercer Estado con mayor PIB de México. Su PIB equivalía a 7.3% del nacional (superado solamente por el Estado de México y la Ciudad de México). Coahuila tenía una participación de 3.49% y Tamaulipas, 3.08% (tabla 2).

Como se dijo en la introducción, se considera que el huracán Alex es el de mayor daño en México en los años entre 1970 y 2020. De acuerdo con los cálculos oficiales del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) en 2014, la afectación en los tres Estados tuvo un costo directo cercano a los 25 000 millones de pesos (2 000 millones de dólares estadounidenses, conforme al tipo de cambio vigente publicado por el Banco de México 2023<sup>9</sup>), los cuales correspondieron a 27% del costo directo del total de desastres en México en 2010. El costo directo de los daños en Nuevo León fue 21 500 millones de pesos (1 750 millones de dólares estadounidenses); es decir, 86% del total de estos Estados y 23%

---

<sup>9</sup> Se calculó el tipo de cambio promedio diario, del 1º de junio de 2010 al 30 de septiembre de 2011. Este período comprende el tiempo en el cual se estima la recuperación del huracán, que en el modelo resulta en 10 meses. El cálculo resultante es 12.28 dólares por peso.

del costo directo del total de desastres en el territorio nacional durante ese año. Tamaulipas tuvo 8.3% de los costos directos agregados de los tres Estados y Coahuila, 5.7%.

**Tabla 2**  
**Participación porcentual de los tres Estados en el total nacional**

Región	Población	PIB				
	2010	2008	2009	2010	2011	2012
Coahuila	2.45	3.44	3.13	3.49	3.64	3.72
Nuevo León	4.14	7.25	7.24	7.34	7.13	7.18
Tamaulipas	2.91	3.36	3.18	3.08	2.92	2.95
<b>Los tres Estados</b>	<b>9.50</b>	<b>14.05</b>	<b>13.56</b>	<b>13.90</b>	<b>13.70</b>	<b>13.84</b>

Fuente: (INEGI, 2024a y 2024b).

El huracán se formó en el océano Atlántico, entró a territorio mexicano, a fines de junio de 2010. Primero tocó tierra en la Península de Yucatán, cruzando por los Estados de Quintana Roo y Yucatán, debilitándose. Después de cruzar el Golfo de México, fortaleciéndose, el meteoro volvió a tocar tierra mexicana por el norte del Estado de Tamaulipas, afectando principalmente a las ciudades de Matamoros, Reynosa y Victoria (ésta, capital del Estado) (CENAPRED, 2020 y Hernández Unzón, A. y C. Bravo Lujano, s/f).

El fenómeno se adentró en Nuevo León, pasando por la ciudad de Monterrey, la más poblada de esa zona noreste de México, y capital de Nuevo León, en la noche del 30 de junio de 2010. La trayectoria terminó en Coahuila, el Estado vecino al de Nuevo León. A su paso, el meteoro destruyó viviendas e infraestructura, y gran parte de la población quedó sin energía eléctrica, sobre todo en Monterrey, con el desbordamiento del río Santa Catarina y amplia destrucción. Las comunicaciones por tierra y por vía aérea se cerraron (Hernández Unzón, A. y C. Bravo Lujano, s/f, y Torres Navarro *et al.*, 2010).

Como se menciona en la introducción, otro estudio previo a éste, sobre el mismo huracán calcula que en Nuevo León, 29% de los costos totales fueron indirectos (Mendoza-Tinoco *et al.*, 2019).

## 5. Resultados

A continuación, se presentan los principales resultados del modelo, especialmente los costos directos e indirectos del desastre, considerando la evolución de la capacidad productiva durante el período de recuperación, dados los vínculos intersectoriales y la magnitud relativa de los impactos. Además, los resultados se presentan desagregados por región y por sector.

La evolución de los impactos económicos mensuales se presenta en tres partes en la gráfica 1. La parte *a* ilustra las relaciones entre la producción necesaria para satisfacer la demanda final y la capacidad productiva, dada la destrucción de bienes de capital, midiendo en el eje horizontal el tiempo en meses y, en el vertical, el valor de la demanda en millones de dólares. Se aprecia una tendencia de la capacidad total creciente en los primeros meses, la cual luego se estabiliza rápidamente, mientras que la producción demandada va recuperándose más lentamente.

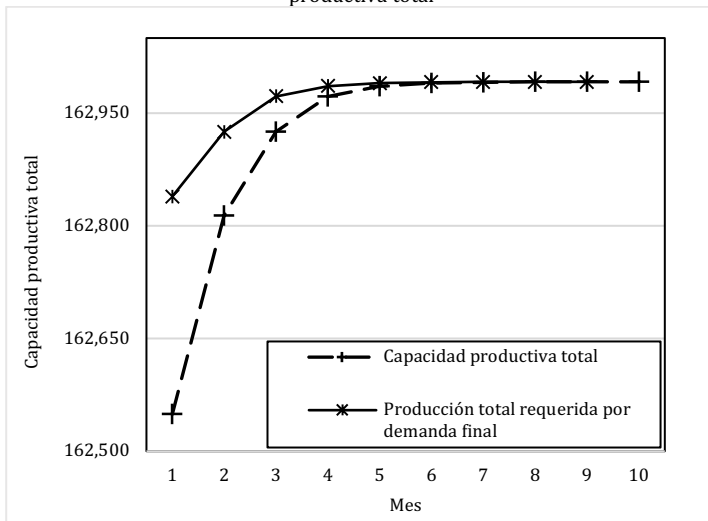
Esta tendencia de la recuperación puede estar impactada por el esquema de racionamiento seleccionado, el cual, al dar prioridad a las transacciones interindustriales, enfoca los esfuerzos a recuperar la capacidad productiva. Mientras que la reducción en el crecimiento para períodos posteriores se corresponderá principalmente a los desequilibrios entre capacidad productiva y demanda.

La parte *b* de la gráfica 1 compara la demanda final en cada período de tiempo durante la recuperación con los esfuerzos de reconstrucción, tanto los locales como los esfuerzos conjuntos locales-externos, incorporando la aportación de las importaciones al proceso de recuperación. Adicionalmente, en la misma gráfica, esta capacidad productiva es comparada con el nivel de demanda efectiva previa al desastre. Se observa una recuperación de la capacidad productiva y una contribución relevante de las importaciones al proceso de recuperación.

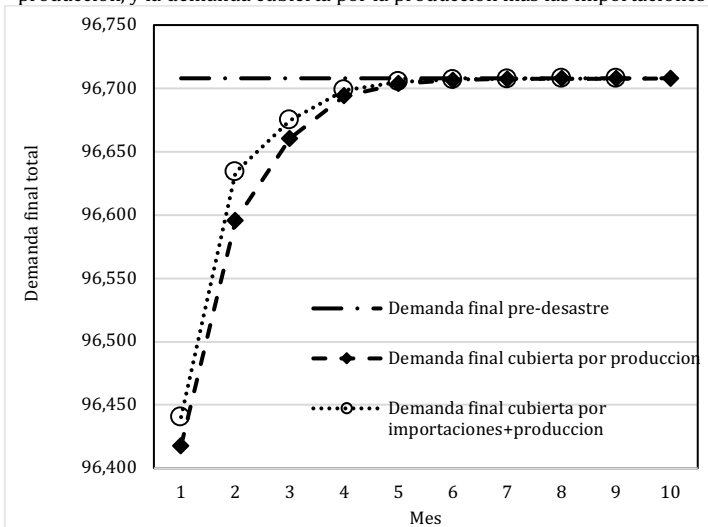
La parte *c* de la gráfica 1 presenta los costos totales del daño por mes. Resume el proceso de recuperación, considerando los equilibrios parciales en cada momento del tiempo durante la recuperación, y comparándolos con el nivel previo al desastre. La suma de las diferencias entre estas cantidades de capacidad productiva y de demanda, en términos de valor agregado, constituye el costo económico total del desastre, o la huella del desastre. En esta parte de la gráfica destaca la rápida recuperación en los primeros meses, pero persisten algunos desequilibrios que desaparecen hasta el mes 10.

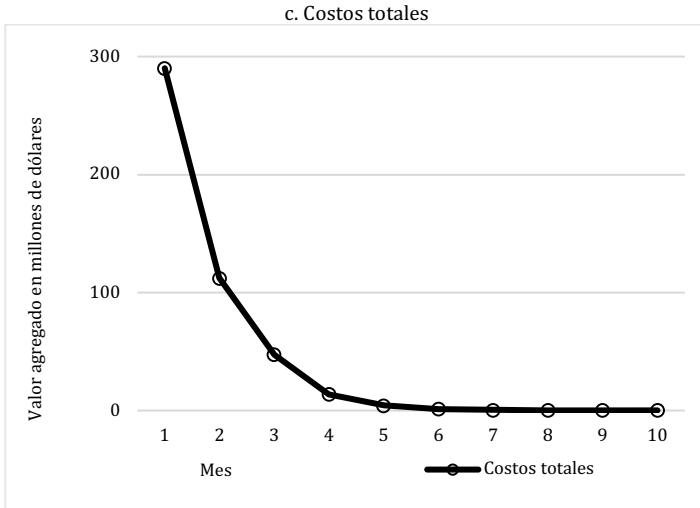
**Figura 1**  
**Evolución de los impactos económicos durante la recuperación de junio de 2010 a abril de 2011 (en millones de dólares)**

a. Desequilibrios entre la demanda, la capacidad productiva laboral y la capacidad productiva total



b. Desequilibrios entre la demanda en recuperación, la demanda cubierta por la producción, y la demanda cubierta por la producción más las importaciones





Fuente: elaboración propia basada en los resultados del modelo.

La tabla 3 presenta los valores de las variables más relevantes, es decir, la producción total, la demanda final, y la capacidad productiva, en su nivel previo al desastre, como a lo largo del período de recuperación después del desastre.

**Tabla 3**  
**Valores mensuales pre-desastre y durante el proceso de recuperación (millones de dólares)**

Concepto	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10
<b>Capacidad productiva</b>										
Capacidad previa al desastre	162,992	162,992	162,992	162,992	162,992	162,992	162,992	162,992	162,992	162,992
Capacidad real	162,550	162,813	162,925	162,972	162,986	162,990	162,991	162,991	162,992	162,992
Producción total requerida por la demanda final	162,839	162,925	162,972	162,986	162,990	162,991	162,991	162,992	162,992	---
<b>Demanda final</b>										
Previa al desastre	96,708	96,708	96,708	96,708	96,708	96,708	96,708	96,708	96,708	96,708
Cubierta por producción	96,418	96,596	96,660	96,694	96,704	96,707	96,707	96,708	96,708	96,708
Cubierta por importaciones + producción	96,440	96,634	96,675	96,699	96,705	96,707	6,708	96,708	96,708	---

Fuente: elaboración propia con resultados de la modelación.

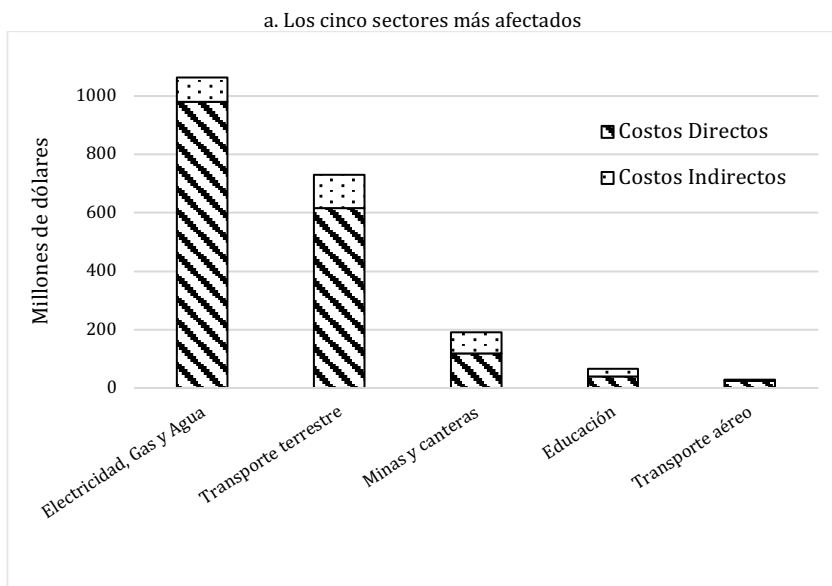
En lo que respecta al análisis intersectorial, la gráfica 2 presenta los costos de los daños por sector, distribuidos por costos directos e indirectos. La parte a) presenta la distribución para los 5 sectores más afectados. Por

cuestiones de escala, la parte b) presenta la distribución para el resto de los sectores.

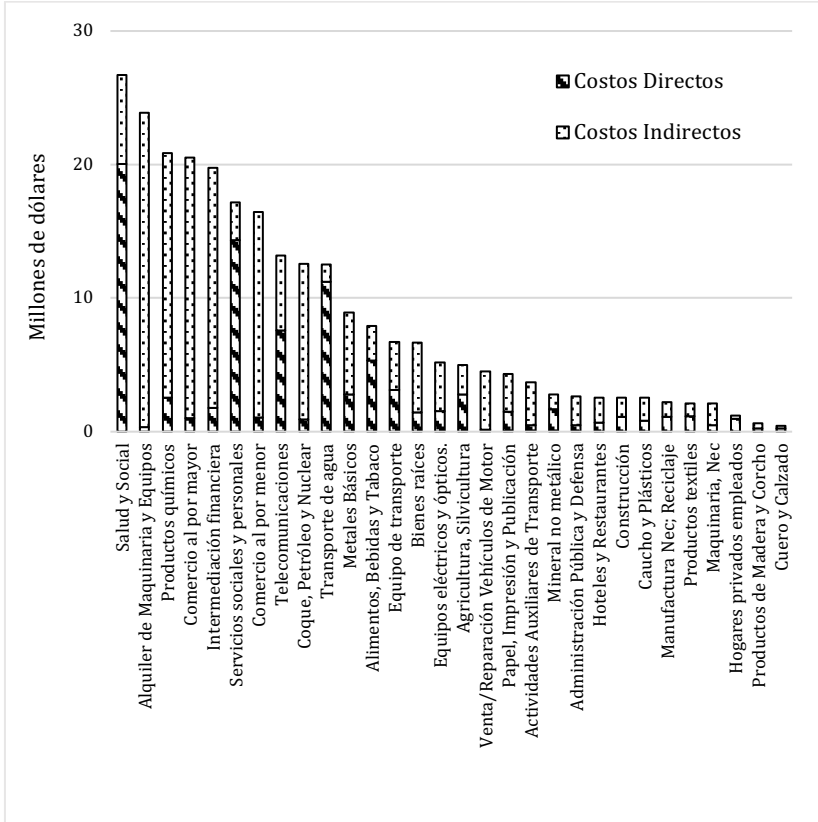
Se aprecia la mayor afectación al sector de las telecomunicaciones, así como en sectores cuyo capital se concentra en bienes inmuebles (como, por ejemplo, los sectores agrícolas, bienes raíces y minería). También sectores relacionados con la infraestructura (como el de electricidad, suministro de agua y gas) sufrieron afectaciones relativamente considerables.

Por otro lado, la gráfica 3 ofrece la distribución porcentual de los costos directos y los indirectos, respecto de los costos totales en cada sector económico. Aunque en términos absolutos, estos costos son relativamente pequeños, se aprecian los encadenamientos intersectoriales, donde los costos indirectos son incluso mayores que aquellos ocasionados directamente por el desastre. Los casos más relevantes son los sectores de renta de maquinaria, la intermediación financiera, y el comercio al por menor. Estos resultados muestran los sectores que fueron indirectamente más vulnerables al desastre.

**Figura 2**  
**Distribución de los costos directos y los indirectos por tipo de sector**



b. Los demás sectores

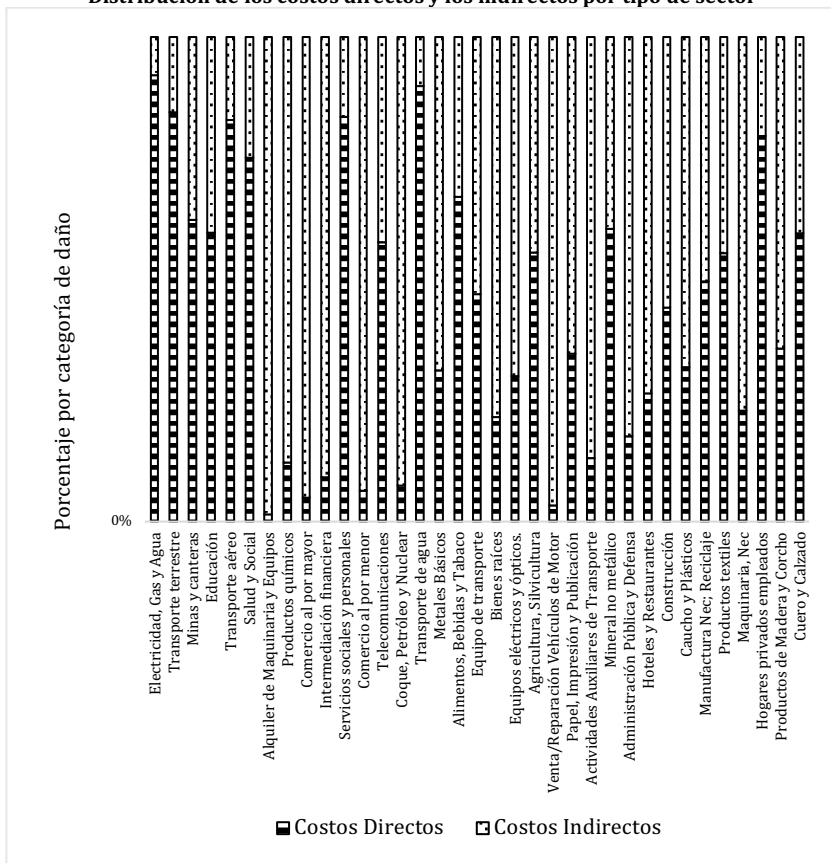


Fuente: elaboración propia con resultados del modelo.

Otros resultados del modelo revelan una afectación a la fuerza laboral, equivalente a 4.14% de los costos indirectos y una reducción del consumo de bienes no básicos de 20% de la población afectada. Estos dos impactos representan respectivamente 0.8% y 0.4% adicionales de los costos indirectos.



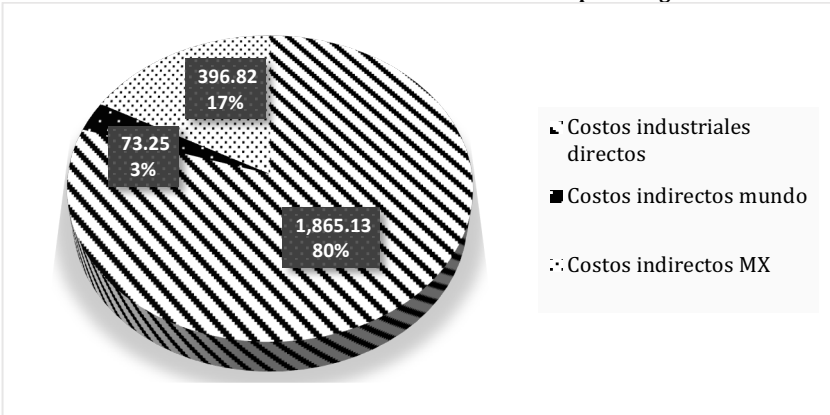
**Figura 3**  
**Distribución de los costos directos y los indirectos por tipo de sector**



Fuente: elaboración propia basada en los resultados del modelo.

La gráfica 4 muestra la distribución de los costos totales de los daños entre los costos directos, los costos indirectos en el territorio nacional y los costos indirectos en el exterior. Los resultados de los cálculos revelan que, por cada 100 dólares de costos por daños directos, se generaron 25 dólares de costos indirectos y que, de los costos totales, 20.1% corresponde a costos indirectos. Entonces, dado que los costos directos fueron 1,865 millones de dólares, los costos indirectos totales 470 millones de dólares, de los cuales 397 se dieron dentro del territorio nacional, mientras que 73 millones de dólares ocurrieron en el exterior. Esto indica que 15.6% de los costos indirectos se presentaron fuera del territorio nacional.

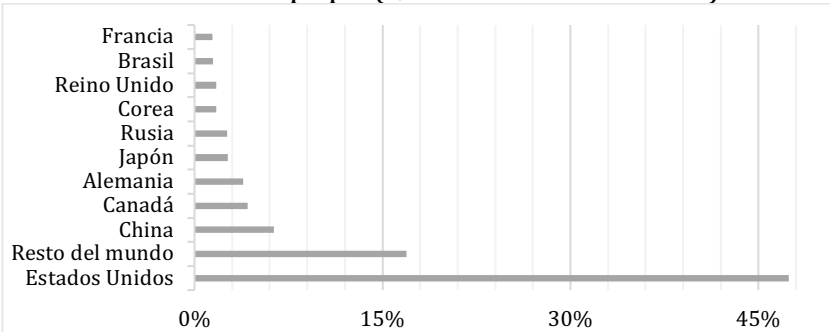
**Figura 4**  
**Distribución de los costos totales de los daños por categoría**



Fuente: elaboración propia basada en los resultados del modelo.

Finalmente, la gráfica 5 muestra la distribución del *impacto contagiado* del daño por el desastre natural al resto del mundo, mostrando una relación entre la proporción de los costos indirectos del daño y las relaciones comerciales con cada país socio. Se presentan los diez países con los mayores costos indirectos. Sobresale, con mucho, el costo indirecto para Estados Unidos, concentrando 47% del total.

**Figura 5**  
**Costos indirectos por país (% de los costos indirectos totales)**



Fuente: elaboración propia basada en los resultados del modelo.

**Recapitulación y comentarios finales**

Los resultados del modelo de EMHD muestran que los costos indirectos agregados de los tres Estados equivalen a 20% de los costos totales, porcentaje inferior y aproximadamente cercano a 29% correspondiente

al análisis del Estado de Nuevo León (Mendoza-Tinoco *et al.*, 2019). Este resultado comprueba la primera hipótesis de trabajo, sugiriendo que los costos indirectos ocasionados por los daños directos en Tamaulipas y Coahuila fueron menos que proporcionales a los generados en Nuevo León. Entonces, al aumentar los costos directos de forma más que proporcional en relación con los indirectos, generan esta diferencia en los resultados. Es decir, las afectaciones indirectas fueron menores en Tamaulipas y Coahuila porque los daños a la estructura industrial no fueron de una magnitud tan grande como en Nuevo León.

El estudio respalda la segunda hipótesis de trabajo. Ciertamente, dados los vínculos comerciales y de inversión de México con Estados Unidos, especialmente de los tres Estados del estudio, los cuales son fronterizos con dicho país, se encontró que un alto porcentaje de los costos indirectos en los países socios comerciales de México corresponde a dicho país vecino. En efecto, resulta que el mayor costo indirecto para el extranjero es, con mucho, el correspondiente a Estados Unidos. Considerando los vínculos económicos de la cadena de valor global, se encuentra que los costos indirectos del desastre para los socios comerciales de México equivalen a 15.6% de los costos indirectos. Sobresale, con mucho, el costo indirecto para Estados Unidos, cercano la mitad de dichos costos en el extranjero.

También son interesantes los resultados de los impactos sectoriales, destacando los mayores costos en el transporte terrestre y en sectores cuyo capital se concentra en bienes inmuebles (como, por ejemplo, alquiler de maquinaria, bienes raíces y minería) y en sectores relacionados con la infraestructura (como el de electricidad, suministro de agua y gas).

Como comentarios finales, es preciso plantear limitaciones y retos para mejorar la calidad de las estadísticas y del modelaje. En primer lugar, el modelo utilizado en este estudio posee rigideces sobre las que es deseable generar mayor flexibilidad a fin de registrar de forma más fehaciente los impactos de los desastres naturales. Entre ellas, la sustituibilidad entre los insumos locales y los importados. Otro tema importante es el de modelar cambios en la productividad de los factores y en los precios.

En segundo lugar, en la literatura empírica del AIED se acepta que los desastres pueden generar efectos positivos parciales, principalmente en los sectores de reconstrucción o de productos básicos necesarios, en las

regiones que no fueron impactadas, durante el tiempo y proceso de recuperación.

Finalmente, se reconoce aquí que la disponibilidad misma de los datos sobre los desastres suele ser imprecisa en la inmediatez de la emergencia. Necesita compilarse de forma precisa y sin rezagos. Los modelos de simulación y generación de funciones de daño, así como los sistemas de monitoreo en tiempo real, permitirán en el futuro generar mecanismos para incorporar esta información más rápidamente y tener cálculos inmediatos y precisos. Asimismo, la sinergia con estas técnicas permitirá la generación de escenarios para pronosticar el impacto económico del cambio climático.

## Referencias

- [1] AG van Bergeijk, P. y Lazzaroni, S. (2015). "Macroeconomics of natural disasters: Strengths and weaknesses of meta-analysis versus review of literature". *Risk Analysis*. 35.6: 1050-1072.
- [2] Banco de México (2023). Estadísticas en línea). Sistema de Información Estadística. Recuperado el 27 de diciembre de 2023 de: <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=6&accion=consultarCuadro&idCuadro=CF373&locale=es>
- [3] Botzen, W. J. W., Deschenes, O. y Sanders, M. (2020). "The economic impacts of natural disasters: A review of models and empirical studies". *Review of Environmental Economics and Policy*.
- [4] Bouwer, L. M. (2019) "Observed and projected impacts from extreme weather events: implications for loss and damage". *Loss and Damage from Climate Change*. Springer, Cham. 63-82.
- [5] Cavallo, E. y Noy, I. (2011). "Natural disasters and the economy—a survey." *International Review of Environmental and Resource Economics*. 5.1: 63-102.
- [6] CENAPRED (2012). "Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2010". En N. García Arróliga, R. Martín 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.
- [7] CENAPRED (2020, 29 de junio. Blog en línea). "A 10 años del huracán Alex". Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado el 28 de diciembre de 2023 de <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/a-diez-anos-del-huracan-alex?idiom=es>.
- [8] Dodd, R. J., Chadwick, D. R., Harris, I. M., Hines, A., Hollis, D., Economou, T., ... y Jones, D. L. (2021). "Spatial Co-localisation of Extreme Weather Events: A Clear and Present Danger". *Ecology Letters*. 24.1: 60-72.

- [9] Dosi, C. (2001). Environmental Value, Valuation Methods, and Natural Disaster Damage Assessment. CEPAL.
- [10] EMDAT (2020). *OFDA/CRED International Disaster Database*. Université Catholique de Louvain. Bruselas.
- [11] Hallegatte, S. (2015). "The Indirect Cost of Natural Disasters and An Economic Definition of Macroeconomic Resilience". *World Bank Policy Research Working Paper*. 7357.
- [12] Hallegatte, S. (2016). *Natural Disasters and Climate Change*. Springer International Publisher.
- [13] Hallegatte, S. y Przulski, V. (2010). "The economics of natural disasters: concepts and methods". *World Bank Policy Research Working Paper*. 5507.
- [14] Hernández Unzón, A. y Bravo Lujano, C. (s/f. Documento en PDF). Reseña del huracán "Alex" del Océano Atlántico. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA. Ciudad de México. Recuperado el 6 de enero de 2024, de <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Ciclones/2010-Alex.pdf>
- [15] INEGI (2024a. Información estadística en línea). Población total por entidad federativa y grupo quinquenal de edad según sexo, serie de años censales de 1990 a 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes. Recuperado el 5 de enero de 2024 de [https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Poblacion\\_Poblacion\\_01\\_e60cd8cf-927f-4b94-823e-972457a12d4b](https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Poblacion_Poblacion_01_e60cd8cf-927f-4b94-823e-972457a12d4b) (los datos de 2010 se basan en: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010).
- [16] INEGI (2024b. Información estadística en línea). Producto Interno Bruto por Entidad Federativa (PIBE). Año base 2018 | Tabulados Predefinidos | PIB de las actividades económicas por entidad federativa. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes. Recuperado el 4 de enero de 2024 de <https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2018/#tabulados>
- [17] Kellenberg, D. y A. Mushfiq Mobarak (2011) "The economics of natural disaster". *Annual Review of Resource Economics*. 3.1: 297-312.
- [18] Kousky, C. (2014). "Informing climate adaptation: A review of the economic costs of natural disasters". *Energy Economics*. 46: 576-592.
- [19] 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*. 33.10: 1908-1923.
- [20] Lu, H., Chen, M. y Kuang, W. (2020). "The impacts of abnormal weather and natural disasters on transport and strategies for enhancing ability for disaster prevention and mitigation". *Transport Policy*. 98: 2-9.
- [21] McDermott, T. K. J., Barry, F. y Tol, R. S. J. (2014). "Disasters and development: natural disasters, credit constraints, and economic growth". *Oxford Economic Papers*. 66.3: 750-773.
- [22] Mendoza-Tinoco, D., Hu, Y., Zeng, Z., Chalvatzis, K. J., Zhang, N., Steenge, A. E., y Guan, D. (2020). "Flood footprint assessment: a multiregional case of 2009 central European floods". *Risk Analysis*. 40.8: 1612-1631.
- [23] Mendoza-Tinoco, D., Mercado-García, A. y Guan, D. (2023). *Multiregional Flood Footprint Analysis. An Appraisal of the Economic Impact of Flooding Events*.

SpringerBriefs in Economics. Cham, Suiza. DOI:  
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-29728-1>.

- [24] Mendoza-Tinoco, D., Méndez-Delgado, A. V. y Mercado-García A. (2019), "Costos económicos del huracán Alex en Nuevo León, México." *Revista Problemas del Desarrollo*. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, 198 (50), julio-septiembre (pp. 3 - 29); <https://doi.org/10.22201/iiiec.20078951e.2019.198.67469>; disponible en línea:  
<https://www.probdes.iiiec.unam.mx/index.php/pde/article/view/67469/61395>  
 . También en inglés:  
[www.probdes.iiiec.unam.mx/index.php/pde/article/view/67469/61417](http://www.probdes.iiiec.unam.mx/index.php/pde/article/view/67469/61417)
- [25] Mirza, M. M. Q. (2003) "Climate change and extreme weather events: can developing countries adapt?" *Climate Policy*. 3.3: 233-248.
- [26] Panwar, V. y Sen, S. (2019). "Economic impact of natural disasters: An empirical reexamination". *Margin: The Journal of Applied Economic Research*. 13.1: 109-139.
- [27] Pelling, M., Özerdem, A. y Barakat, S. (2002). "The macro-economic impact of disasters". *Progress in Development Studies*. 2.4: 283-305.
- [28] 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 de Nuevo León.