

Propuesta metodológica para el análisis costo-beneficio de ciclones tropicales en Nuevo León mediante Tableau: protocolo analítico basado en evidencia publicada del huracán Alex 2010

Methodological proposal for the cost-benefit analysis of tropical cyclones in Nuevo León using Tableau: an analytical protocol based on published evidence of hurricane Alex 2010

Erik Teódulo Cavazos Cavazos FACPYRI UANL erik.cavazoscv@uanl.edu.mx

Víctor Manuel Cárdenas González FACPYA UANL manuel.cardenasg@uanl.edu.mx

María Tereza Cavazos Pérez CICESE tcavazos@cicese.mx

Resumen

El presente artículo propone un protocolo metodológico para el análisis costo-beneficio de ciclones tropicales en Nuevo León, México, con implementación en software Tableau. La propuesta responde a una brecha identificada en la literatura: los estudios existentes calculan sistemáticamente los costos de los desastres, pero rara vez integran los beneficios hídricos derivados de la recarga de acuíferos, ríos, lagos y presas, aun cuando la misma entidad federativa documenta condiciones propicias para inundaciones, deslizamientos y sequías. El protocolo se construye sobre cuatro investigaciones publicadas y de acceso abierto: dos estudios de impacto económico del huracán Alex (2010) uno unirregional y otro multirregional, un análisis comparativo de ciclones tropicales con índice compuesto de daño socioeconómico, y un documento de trabajo sobre efectos a nivel de establecimiento. A partir de esta evidencia se derivan diecinueve parámetros de calibración, un esquema estrella de siete tablas de hechos y nueve dimensiones, dieciséis campos calculados y diez reglas automáticas de validación. La contribución es de naturaleza metodológica: no reporta resultados empíricos de un evento específico, sino que establece la arquitectura reproducible para generarlos. Se concluye que el caso de Nuevo León es idóneo para el análisis propuesto por su doble exposición a efectos opuestos del mismo fenómeno hidrometeorológico, y se identifican las fuentes oficiales primarias requeridas para la fase empírica.

Palabras clave: ciclones tropicales; análisis costo-beneficio con Tableau; gestión del riesgo de desastres.

Abstract

This article proposes a methodological protocol for the cost-benefit analysis of tropical cyclones in Nuevo León, Mexico, implemented in Tableau software. The proposal addresses a gap in the literature: existing studies systematically calculate disaster costs but rarely integrate the hydrological benefits derived from the recharge of aquifers, rivers, lakes, and reservoirs, even though the same federal entity documents conditions conducive to floods, landslides, and droughts. The protocol is built upon four published, open-access studies: two economic impact studies of Hurricane Alex (2010) one single-region and one multi-region, a comparative analysis of tropical cyclones with a composite socioeconomic damage index, and a working paper on establishment-level effects. From this evidence, nineteen calibration parameters, a star schema of seven fact tables and nine dimensions, sixteen calculated fields,

and ten automatic validation rules are derived. The contribution is methodological in nature: it does not report empirical results for a specific event but establishes the reproducible architecture to generate them. It concludes that Nuevo León is a suitable case for the proposed analysis due to its dual exposure to opposing effects of the same hydrometeorological phenomenon, and it identifies the primary official sources required for the empirical phase.

Keywords: tropical cyclones; cost-benefit analysis whit Tableau; disaster risk management.

1. Introducción

La evaluación económica de los desastres naturales ha consolidado un cuerpo metodológico robusto en las últimas dos décadas. En México, el impacto económico acumulado de los desastres naturales entre 2000 y 2016 ascendió a 424.9296 miles de millones de pesos, y tan solo en 2010 el costo directo de los desastres naturales alcanzó 92.1461 miles de millones de pesos. El huracán Alex, ocurrido entre junio y julio de 2010, se convirtió en el más catastrófico de los ciclones de ese año en el noreste del país, con un costo registrado de 25.0149 miles de millones de pesos distribuidos entre Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila, de los cuales 21.5008 miles de millones correspondieron a Nuevo León.

Pese a esta producción acumulada, persiste una asimetría metodológica: la literatura cuantifica con creciente sofisticación los costos directos e indirectos, pero la dimensión de los beneficios hídricos asociados a los ciclones tropicales permanece escasamente integrada en los ejercicios costo-beneficio. Esta omisión es relevante porque la evidencia científica documenta que los ciclones tropicales constituyen una fuente activa de recarga de agua para acuíferos, ríos, lagos y presas, y que en zonas áridas y semiáridas de México su contribución pluvial es sustancial.

El caso de Nuevo León resulta paradigmático de esta tensión. Se trata de una entidad no costera que, no obstante, ha experimentado impactos significativos de ciclones tropicales principalmente a través de lluvias extremas e inundaciones, como lo demuestran otros casos en Tormentas Tropicales hasta el 2019. Simultáneamente, su geografía presenta condiciones que propician sequías. Un mismo fenómeno hidrometeorológico puede, por tanto, producir costos por inundación y beneficios por recarga hídrica en la misma región y en el mismo evento.

El presente artículo responde a esa brecha mediante una propuesta estrictamente metodológica. Su objetivo es establecer un protocolo reproducible, implementable en Tableau, para validar el análisis costo-beneficio de ciclones tropicales en Nuevo León, articulando la evidencia publicada sobre costos de desastres con los coeficientes documentados de recarga hídrica.

1.1 Planteamiento del problema

La literatura disponible permite responder con precisión a la pregunta de cuánto cuesta un desastre, pero no a la pregunta de cuánto cuesta frente a cuánto beneficia. Los estudios de impacto económico del huracán Alex documentan la magnitud, estructura y propagación de los costos con desagregación sectorial a 19 y 35 sectores, pero no modelan el lado positivo del fenómeno. Los estudios sobre ciclones tropicales documentan la contribución pluvial y las probabilidades de impacto, pero no cruzan esa información con el cálculo económico del daño. La consecuencia es una evaluación parcial que sesga la

estimación del balance neto y, con ello, las decisiones de política pública en adaptación y gestión del riesgo.

1.2 Justificación

La justificación del estudio descansa en tres argumentos. Primero, del tipo científico: la integración de beneficios hídricos en el análisis costo-beneficio mejora la precisión de la estimación neta del impacto. Segundo, con carácter metodológico: la disponibilidad de herramientas de inteligencia de negocios, como Tableau, permite construir modelos analíticos reproducibles, auditables y escalables a nuevos eventos. Tercero, en cuestiones de política pública: la asignación de recursos para políticas y acciones de adaptación y gestión de riesgos requiere una estimación balanceada que reconozca tanto el costo como el servicio ecosistémico asociado.

1.3 Preguntas de investigación

1. ¿Cómo puede estructurarse un modelo de datos en Tableau que integre dimensiones de impacto “física, humana, económica y ambiental” de un ciclón tropical?
2. ¿Qué parámetros de calibración pueden derivarse de la evidencia científica publicada para alimentar dicho modelo?
3. ¿Cómo debe formularse un balance costo-beneficio que reconozca simultáneamente los costos del desastre y los beneficios de la recarga hídrica?

1.4 Objetivos

General. Proponer un protocolo metodológico para el análisis costo-beneficio de ciclones tropicales en Nuevo León mediante Tableau, sustentado en evidencia publicada.

Específicos.

1. Sistematizar los parámetros cuantitativos disponibles en la literatura sobre costos y recarga hídrica.
2. Definir la arquitectura de datos y el esquema estrella del modelo analítico.
3. Especificar los campos calculados, los tableros y las reglas de validación.
4. Formular algebraicamente el balance costo-beneficio y su análisis de sensibilidad.

2. Marco teórico

2.1 El marco de riesgo del Marco de Sendai

El riesgo de desastre se evalúa como la interacción multiplicativa de la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad, fórmula consolidada como estándar internacional y empleada en los estudios enfocados en ciclones tropicales en México. La investigación contemporánea valida que las características físicas de los fenómenos por sí solas no dictan la magnitud de los desastres, sino que es la interacción entre los

niveles de amenaza y las condiciones de exposición y vulnerabilidad la que amplifica el daño socioeconómico.

2.2 Costos directos e indirectos

Los costos directos se refieren a reducciones en el valor de una variable de *stock*, esto es, del acervo de capital y de bienes muebles e inmuebles. Se originan por el daño del desastre en los bienes afectados, tanto de consumo como de capital, y tradicionalmente se calculan con base en los precios de mercado de los bienes destruidos.

Los costos indirectos se refieren a la reducción en el valor de una variable de *flow*, es decir, a la producción corriente durante el período de afectación. La destrucción de bienes de los hogares y de infraestructura restringe la productividad del factor trabajo, mientras que la afectación a los bienes de capital reduce la capacidad productiva del factor capital. El imbricado encadenamiento de los sectores productivos implica una fuerte dependencia entre proveedores y usuarios de insumos intermedios, de modo que la reducción de la capacidad productiva de un sector contrae también a los sectores proveedores, a los compradores en la cadena de valor y, sucesivamente, a los sectores vinculados con estos.

En la modelación, la capacidad productiva se determina como el mínimo de cada factor productivo, capital y trabajo, y se aplican esquemas de racionamiento que asignan los recursos restantes con prioridad a la demanda intermedia.

2.3 Análisis de insumo-producto y Evaluación Multirregional de la Huella del Desastre

La ecuación básica del modelo de insumo-producto es $x = Ax + f$, donde x es el vector de producción total sectorial, Ax el vector de demanda intermedia y f el vector de demanda final. La metodología de referencia empleada en el corpus, denominada Evaluación Multirregional de la Huella del Desastre (EMHD), extiende este marco para considerar los costos indirectos ocasionados más allá de las fronteras nacionales, incorporando cinco elementos: la dimensión multirregional del análisis, la recuperación dinámica en el tiempo, la transición de la inversión en recuperación de capital hacia la recuperación de la capacidad productiva, los efectos de los daños residenciales, y la demanda de reconstrucción como motor de aceleración de la recuperación.

2.4 La dimensión de beneficios: recarga hídrica

La literatura documenta que en México, principalmente en zonas costeras, existe evidencia del papel de los ciclones tropicales en la reposición de reservas de agua, y que estos fenómenos constituyen una fuente activa de recarga para acuíferos, ríos, lagos y presas. En municipios de la Península de Baja California los ciclones aportan entre 55% y 60% de la precipitación media acumulada anual total; en las costas del norte-centro del Pacífico y en la Península de Yucatán, cerca del 20% de la lluvia está asociada con la ocurrencia de ciclones tropicales.

2.5 Inteligencia de negocios aplicada a la evaluación de desastres

La literatura sobre evaluación de desastres ha empleado crecientemente modelos de equilibrio general aplicado, cuyos parámetros de calibración son exógenos y que suponen que la economía se encuentra en equilibrio en todo momento. Frente a la rigidez de los modelos estáticos y la complejidad computacional de los modelos dinámicos, las plataformas de inteligencia de negocios ofrecen una

alternativa complementaria: permiten construir modelos analíticos transparentes, con trazabilidad de cada supuesto y con actualización paramétrica inmediata. Tableau, en particular, ofrece esquemas de parámetros, relaciones y campos calculados que habilitan esta función sin requerir programación especializada.

3. Metodología

La presente investigación es de naturaleza documental y de diseño metodológico. No incluye trabajo empírico de campo. El protocolo se construyó en cinco etapas.

3.1 Etapa 1: Selección y delimitación del corpus

El corpus se integró con cuatro investigaciones publicadas y de acceso abierto, seleccionadas por satisfacer simultáneamente tres criterios:

- (i) Cuantificar el impacto económico de ciclones tropicales en México, preferentemente el noreste del país
- (ii) Proveer parámetros explícitos y reproducibles
- (iii) Ser recuperables y verificables mediante identificador de objeto digital.

3.2 Etapa 2: Extracción paramétrica

De cada documento se extrajeron los valores numéricos susceptibles de operar como parámetros de calibración: costos totales, directos e indirectos; vectores de daño por sector; escenarios de sensibilidad; distribuciones territoriales; coeficientes de aporte ciclónico a la precipitación; elasticidades de producción; y probabilidades anuales empíricas.

3.3 Etapa 3: Verificaciones aritméticas internas

Para asegurar la consistencia del corpus se realizaron nueve verificaciones aritméticas internas sobre los valores reportados, incluyendo la reconstrucción del daño directo agregado, la reproducción del DII y el recálculo del vector de daño por sector.

3.4 Etapa 4: Diseño de la arquitectura analítica

Se definió un esquema estrella con siete tablas de hechos y nueve dimensiones, bajo cinco principios: separación entre parámetros y hechos, granularidad declarada, trazabilidad documental total, idempotencia de la carga y neutralidad de unidades.

3.5 Etapa 5: Especificación de campos y validaciones

Se formularon dieciseis campos calculados y diez reglas automáticas de validación, destinadas a operar como umbrales de calidad dentro del extracto de Tableau.

3.6 Consideración metodológica y epistémica

Debe declararse con precisión el alcance y los límites del corpus. Cabe mencionar que los cuatro documentos no contienen registros específicos de la Tormenta Tropical Alberto, ni de su trayectoria, precipitaciones, daños o efecto sobre las presas de Nuevo León. Tampoco contienen series de niveles de almacenamiento de las presas de la entidad, volúmenes de extracción o valores medidos de recarga de

acuíferos. En consecuencia, la contribución de este artículo es la arquitectura analítica y su calibración paramétrica, no la producción de resultados empíricos sobre un evento determinado.

4. Resultados: el protocolo metodológico propuesto

4.1 Parámetros de calibración derivados del corpus

La sistematización del corpus permitió derivar diecinueve parámetros, cada uno con trazabilidad con respecto a sus documentos fuente.

Tabla 1. Parámetros de calibración del modelo

Parámetro	Valor	Fuente temática
Tipo de cambio	12.28 mxn = 1 USD	Banxico promedio jun-2010 a sep-2011
Damage Increase Index (DII)	0.2884	Escenario Base
Proporción de costos indirectos (multirregional)	0.201	Resultado multirregional
Participación de indirectos en el exterior	0.156	Distribución geográfica
Participación de Estados Unidos en indirectos	0.47	Distribución geográfica
Capital en vivienda sobre capital físico total	0.4707	INEGI
Capital residencial regional sobre nacional	0.0992	INEGI
Proporción dañada de viviendas	0.0385	Modelación
Elasticidad del viento sobre producción	- 0.18 p.p. por m/s	Estimación microeconométrica
Desviación estándar del viento	3.12 m/s	Estadística descriptiva
Probabilidad de impacto condicional	0.97	Serie 1970–2023
Probabilidad de huracán que toca tierra	0.83	Serie 1970–2023
Horizonte de recuperación unirregional	20 meses	Modelación dinámica
Horizonte de recuperación multirregional	10 meses	Modelación dinámica
Aporte ciclónico a precipitación (límite superior)	0.60	Zonas áridas y semiáridas
Aporte ciclónico a precipitación (límite inferior)	0.55	Zonas áridas y semiáridas
Aporte ciclónico a precipitación (referencia general)	0.20	Norte-centro del Pacífico y Yucatán
Efecto de una desviación estándar de viento	- 0.57 p.p.	Estimación microeconométrica
Correlación mínima entre variables del índice	superior a 0.49	Análisis de componentes principales

Elaborado con Tableau Desktop 2026

Su aplicación requiere verificar la correspondencia temporal y geográfica de las fuentes con el caso de Nuevo León. Además, el efecto de una desviación estándar del viento debe conservar el signo negativo

del coeficiente: aproximadamente 0.5689 El huracán Alex de 2010 fue un ciclón tropical que evolucionó de tormenta tropical a huracán y alcanzó categoría 2 antes de tocar tierra en Tamaulipas. El National Hurricane Center lo registra oficialmente como Hurricane Alex (HU), con vientos máximos de 95 nudos

4.2 Verificaciones aritméticas de consistencia del corpus

Se realizaron nueve verificaciones. Todas resultaron consistentes con los valores reportados.

Tabla 2. Verificaciones aritméticas internas

Verificación Audit Ejecutiva				Total Verificaciones:
Verificación	Cálculo Aritmético	Resultado Calculado	Estatus / Coincidencia	
Daño directo industrial más residencial	20,538.21 + 962.65	21,500.86 M MXN	✓ Coincide con el impacto directo reportado.	9/9 ✓ Validadas (100%) Tolerancia Máxima: ±0.5% Sector Todos Tipo de Métrica Todos
Suma del escenario 4	20,538.21 + 962.65 + 6,336.27	27,837.13 M MXN	✓ Coincide exactamente.	
Participación del sector eléctrico en daño directo	11,722.01 / 20,538.21	57.1%	✓ Coincide con el 57% reportado.	
Participación del sector transporte en daño directo	7,411.99 / 20,538.21	36.1%	✓ Coincide con el 36% reportado.	
Concentración conjunta de electricidad y transporte	57.1% + 36.1%	93.2%	✓ Coincide con el 93% reportado.	
DII del escenario base	5,922.31 / 20,538.21	28.84%	✓ Coincide exactamente.	
Vector de daño del sector eléctrico	11,722.01 / 121,687.96	0.096	✓ Coincide con el vector 0.10.	
Vector de daño del sector transporte	7,411.99 / 27,041.21	0.274	✓ Coincide con el vector 0.27.	
Vector de daño agregado estatal	20,538.21 / 490,027.40	0.042	✓ Coincide con el vector 0.04.	

Elaborado con Tableau Desktop 2026

El hallazgo relativo más relevante es que **el vector de daño del evento equivale al cociente entre el daño al capital y el acervo de capital por sector**, relación que puede instrumentarse como campo calculado con alerta automática de consistencia.

4.3 Arquitectura de datos: esquema estrella

El modelo lógico se estructura en siete tablas de hechos y ocho dimensiones, con el software estadístico Tableau, al validar el nivel de granularidad significa que se pueden analizar los datos con distintos grados de detalle y al resultar “multidimensional” como nuestro caso, se puede entender que también habilita estar combinando varias dimensiones y emparejar en diferentes categorías de análisis.

La tabla 3 presenta la arquitectura de datos del modelo, organizada en siete tablas de hechos. Cada una almacena medidas de un aspecto del fenómeno. La columna “Grano” indica qué representa cada registro y el nivel de detalle con el que se organiza la información.

Tabla 3. Tablas de hechos del modelo

Tabla de hechos	Grano	Medidas principales
HECHO_COSTOS	evento × geografía × sector × tiempo × tipo de costo	monto MXN, monto USD, porcentaje, DII
HECHO_CAPACIDAD	evento × tiempo	capacidad previa, capacidad real, producción requerida, demanda final cubierta
HECHO_SOCIAL	evento × geografía × año	fallecimientos, población afectada, viviendas dañadas, familias damnificadas
HECHO_ESTABLECIMIENTO	evento × establecimiento × mes	viento máximo sostenido, crecimiento de producción, ingresos, gastos operativos
HECHO_AMBIENTAL	evento × geografía × tiempo	precipitación acumulada, aporte ciclónico, volumen de recarga, nivel de presa
HECHO_INDIRECTO_PAIS	evento × país	costo indirecto, porcentaje del total indirecto
HECHO_PROBABILIDAD	entidad	probabilidad anual de daño, probabilidad de impacto

Top KPI:
Total Tablas de Hechos:
7

Bottom KPI:
Nivel de Granularidad:
Multidimensional

Elaborado con Tableau Desktop 2026

Con el software estadístico Tableau, al validar el nivel de granularidad significa que se pueden analizar los datos con distintos grados de detalle y al resultar “multidimensional” como nuestro caso, se puede entender que también habilita estar combinando varias dimensiones y emparejar en diferentes categorías de análisis.

Su implementación en Tableau puede facilitar la exploración interactiva de los datos y la identificación de patrones relevantes para la gestión del riesgo y la planificación de la recuperación. No obstante, la validez de los análisis dependerá de la calidad, cobertura y compatibilidad temporal y espacial de las fuentes, así como de relaciones entre tablas que eviten duplicidades en la agregación de costos. En consecuencia, el modelo constituye una base metodológica para el análisis integrado, cuyo alcance deberá corroborarse mediante su aplicación y validación empírica.

Y como lo refiere la Tabla 4 para las dimensiones que indican “de qué, dónde y cuándo”; las medidas indican “cuánto”. Para combinarlas correctamente, las tablas deben estar relacionadas con los datos de daños o costos al nivel de detalle correspondiente. El modelo multidimensional propuesto ofrece una estructura para analizar los impactos de eventos hidrometeorológicos al integrar ocho dimensiones: eventualidad, geografía, sector, tiempo, tipo de costo, país, presa y establecimiento. Esta organización permite examinar la distribución territorial y sectorial de los daños, diferenciar costos directos e indirectos y estudiar su evolución temporal, incorporando además la exposición de establecimientos e infraestructura hidráulica.

Tabla 4. Dimensiones del modelo

The screenshot shows the Tableau Desktop interface with a table titled 'Tabla 4. Dimensiones del modelo'. The table lists 8 dimensions with their attributes and estimated cardinality. On the right, a summary box shows 'Total Dimensiones: 8' and 'Granularidad Máxima: 2,456 Municipios / 7,465 Establecimientos'. A search bar and a list of aggregation levels are also visible.

Dimensión	Atributos Principales	Cardinalidad Estimada
1. DIM_EVENTO	nombre, año, tipo, categoría Saffir-Simpson, toca tierra (sí/no)	12 eventos de referencia más el evento de estudio
2. DIM_GEOGRAFIA	entidad, municipio, latitud, longitud, región, litoral (sí/no), marginación	32 entidades; 2,456 municipios
3. DIM_SECTOR	nombre, código SCIAN, código WIOD, agrupación, posición en la cadena de valor	19 sectores del corpus; 35 sectores WIOD
4. DIM_TIEMPO	fecha, año, mes, trimestre, mes de recuperación, fase	Mensual
5. DIM_TIPO_COSTO	directo residencial, directo industrial, directo de infraestructura social, directo de infraestructura económica, indirecto nacional, indirecto exterior	6 categorías
6. DIM_PAIS	nombre, región, vínculo comercial, participación en la cadena de valor	40 países más resto del mundo
7. DIM_PRESA	nombre, entidad, capacidad de almacenamiento, uso, cuenca	Por definir
8. DIM_ESTABLECIMIENTO	tamaño, subsector SCIAN, entidad, municipio, nivel de exposición	7,465 en la muestra de servicios

Elaborado con Tableau Desktop 2026

4.4 Campos calculados

Se presentan los 16 campos calculados en Tableau que transforman los datos del protocolo en indicadores para analizar daños, recuperación, riesgo y balance económico. Incluye el módulo, el nombre del indicador, su fórmula y su función analítica.

Tabla 5. Campos calculados del protocolo

The screenshot shows the Tableau Desktop interface with a table titled 'Diccionario de Fórmulas: Tabla 5. Campos Calculados del Protocolo'. The table lists 16 calculated fields with their modules, formulas, and analytical functions. On the right, a summary box shows 'Total Campos Calculados: 16'. A list of modules is also visible.

Módulo	Campo Calculado	Expresión / Sintaxis de Tableau	Función Analítica
Económico	DII	$\text{SUM}([\text{costo_indirecto}]) / \text{SUM}([\text{dano_directo_industrial}])$	Índice de Aumento del Daño
Económico	Prop. indirecto	$\text{SUM}([\text{costo_indirecto}]) / (\text{SUM}([\text{costo_directo}]) + \text{SUM}([\text{costo_indirecto}]))$	Peso relativo del efecto indirecto
Económico	Indirecto exterior	$\text{SUM}([\text{costo_indirecto}]) * [\text{p_participacion_indirecto_exterior}]$	Huella externa del desastre
Económico	IHH sectorial	Suma de cuadrados de participaciones sectoriales	Concentración del daño
Económico	Vector de daño	$\text{SUM}([\text{dano_capital}]) / \text{SUM}([\text{capital_sector}])$	Reproducción del vector reportado
Económico	Alerta de vector	IF ABS([vector_calc] - [vector_reportado]) > 0.005 THEN 'Revisar' ELSE 'Consistente' END	Validación automática
Recuperación	Brecha de capacidad	$\text{SUM}([\text{capacidad_previa}]) - \text{SUM}([\text{capacidad_real}])$	Magnitud de la pérdida
Recuperación	Tasa de recuperación	$1 - (\text{capacidad_previa} - \text{capacidad_real}) / \text{capacidad_previa}$	Velocidad de retorno
Recuperación	Mes de equilibrio	MIN(IF [capacidad_real] >= [capacidad_previa] THEN [mes] END)	Periodo de retorno
Establecimiento	Efecto puntual del viento	$[\text{viento_ms}] * [\text{p_elasticidad_viento_produccion}]$	Sensibilidad de producción
Probabilidad	Prob. de impacto anual	$[\text{p_probabilidad_huracan_tierra}] * [\text{p_probabilidad_impacto_condicional}]$	Riesgo ex ante
Probabilidad	Prob. acumulada	$1 - \text{POWER}(1 - [\text{prob_anual}], [\text{horizonte_anios}])$	Riesgo multianual
Ambiental	Beneficio de recarga	$[\text{volumen_recarga_m3}] * [\text{valor_unitario_agua_mxn_m3}]$	Valor del servicio ecosistémico
Balance	Balance neto	$[\text{beneficio_total_mxn}] - [\text{costo_total}]$	Indicador sintético
Balance	Razón beneficio-costo	$[\text{beneficio_total_mxn}] / [\text{costo_total}]$	Eficiencia relativa
Balance	Balance sobre PIB	$[\text{balance_mxn}] / [\text{pib_estatal_mxn}]$	Normalización macroeconómica

Elaborado con Tableau Desktop 2026

Los campos calculados conforman una base analítica para integrar los efectos económicos, ambientales y de recuperación de los eventos estudiados. Su implementación en Tableau facilita la comparación de resultados, aunque su validez depende de la calidad de los datos, la coherencia de las unidades y la verificación de los supuestos de cálculo.

4.5 Reglas automáticas de validación

Se muestra a continuación un tablero de control de calidad en Tableau con 10 reglas para verificar la coherencia de los datos y cálculos del protocolo. Cada regla incluye su criterio, severidad y estado de cumplimiento.

Tabla 6. Reglas de validación y severidad de alerta

Tabla 6. Reglas de validación y severidad de alerta

Tabla 6.1. Reglas de validación y severidad de alerta

Regla	Criterio	Severidad de Alerta	Estado de Cumplimiento (Semáforo)
RV-01	Suma de componentes de daño directo igual al daño directo reportado	Alta	Alerta Alta / Requiere Corrección
RV-02	Suma de escenarios igual al total reportado	Alta	Alerta Alta / Requiere Corrección
RV-03	DII calculado igual al DII reportado	Media	Alerta Media / Revisión
RV-04	Diferencia del vector de daño menor o igual a 0.005	Baja	Cumple / Alerta Baja
RV-05	Suma triestatal consistente con el total	Alta	Alerta Alta / Requiere Corrección
RV-06	Conversión monetaria consistente	Media	Alerta Media / Revisión
RV-07	Capacidad real menor o igual a la previa en todos los meses	Alta	Alerta Alta / Requiere Corrección
RV-08	Monotonía creciente de la capacidad real	Media	Alerta Media / Revisión
RV-09	Aporte de importaciones no negativo	Media	Alerta Media / Revisión
RV-10	Proporción de indirecto dentro del rango 0.15–0.35	Baja	Cumple / Alerta Baja

Elaborado con Tableau Desktop 2026

Para el estado de cumplimiento los colores significan;

-Rojo: *Alerta* requiere corrección prioritaria.

-Naranja: *Alerta media* requiere revisión.

-Verde: *Cumple* indica cumplimiento.

Los filtros permiten consultar los resultados por severidad, regla y rango de cumplimiento. Una precisión importante: la *severidad* indica la importancia de un posible incumplimiento; el *estado* indica si la regla se cumple. Deben distinguirse: una regla de severidad alta puede estar en verde si cumple, y una de severidad baja puede incumplirse. Además, las restricciones sobre capacidad, recuperación y proporción del costo indirecto son supuestos del protocolo, no condiciones universales; deben justificarse para el caso estudiado.

La tabla permite detectar inconsistencias y priorizar su revisión antes de interpretar los resultados. Su utilidad depende de que las reglas estén justificadas y el semáforo refleje el cumplimiento real de los datos, no únicamente la severidad asignada

4.6 Ecuación del Balance Costo-Beneficio (BCB)

El protocolo propone la siguiente formulación general:

$$BCB = (B_{\text{ambiental}} + B_{\text{social}} + B_{\text{económico}}) - (C_{\text{directo}} + C_{\text{indirecto}} + C_{\text{social}})$$

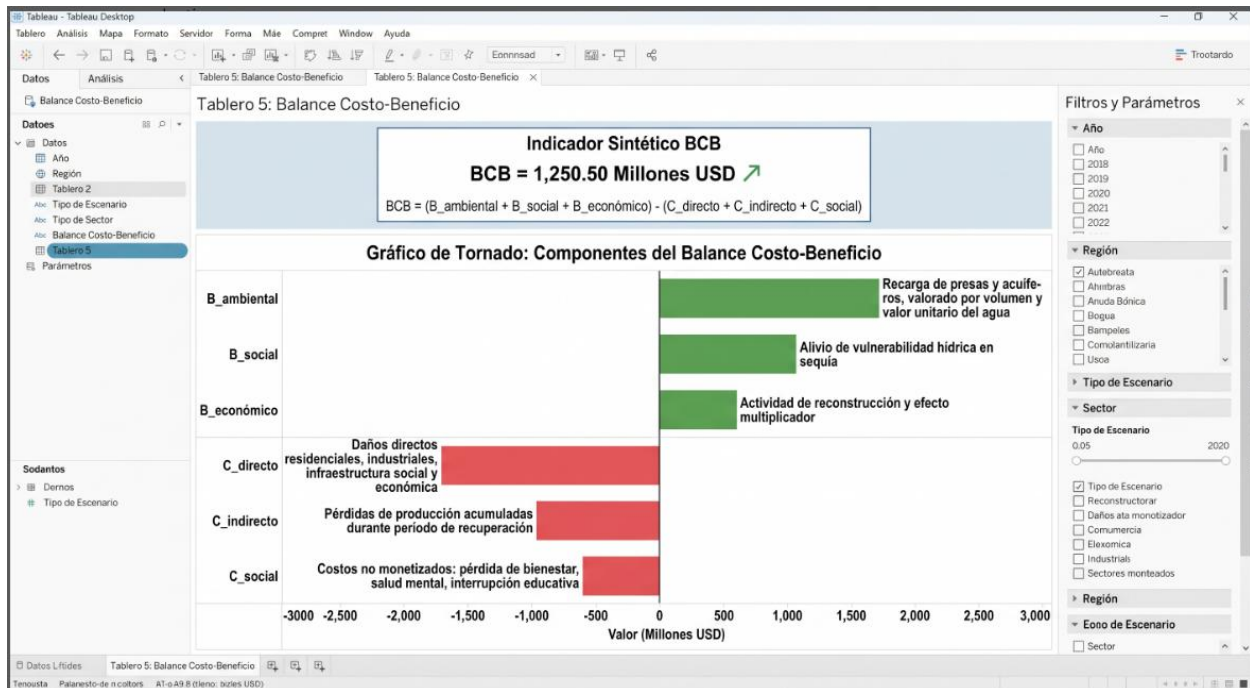
Tabla 7. Componentes de la ecuación del balance costo-beneficio

Componente	Definición operativa
B_ambiental	Beneficio por recarga de presas y acuíferos, valorado por el volumen recuperado y el valor unitario del agua
B_social	Beneficio por alivio de la vulnerabilidad hídrica en condiciones de sequía
B_económico	Beneficio por actividad de reconstrucción y efecto multiplicador
C_directo	Daños directos residenciales, industriales, de infraestructura social y económica
C_indirecto	Pérdidas de producción acumuladas durante el período de recuperación
C_social	Costos no monetizados: pérdida de bienestar, salud mental, interrupción educativa

Elaboración propia con teoría fundamentada

El balance costo-beneficio propuesto integra beneficios ambientales, sociales y económicos con los daños y pérdidas del evento, ofreciendo una perspectiva integral de sus efectos. No obstante, su cálculo requiere unidades comparables, evitar la doble contabilización y evaluar por separado los costos sociales no monetizados, que no pueden restarse directamente de valores monetarios.

Figura 1. Tablero balance costo-beneficio



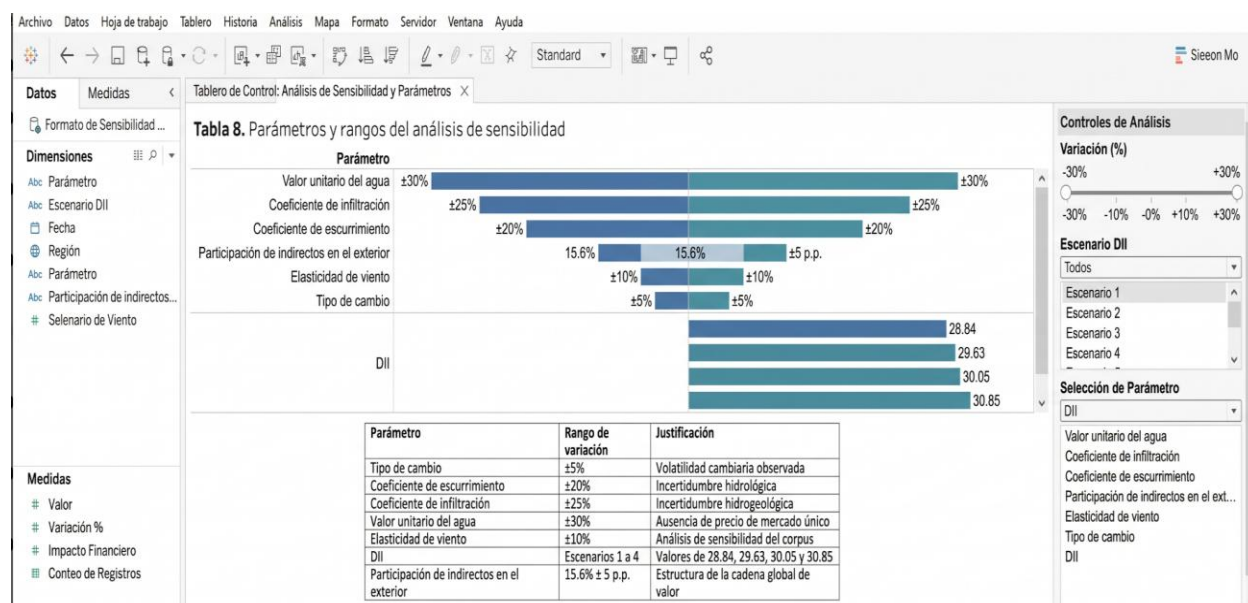
Elaborado con Tableau Desktop 2026

La Figura 1 presenta un tablero en Tableau que compara los beneficios ambientales, sociales y económicos (barras verdes) con los costos directos, indirectos y sociales (barras rojas). Los filtros permiten explorar los resultados por año, región, escenario y sector. El indicador superior reporta un **balance positivo de 1,250.50 millones de USD**, lo que sugeriría beneficios superiores a los costos. Sin embargo, este resultado debe verificarse frente a los valores del gráfico; además, los costos sociales no monetizados no pueden incorporarse directamente a una escala monetaria sin una valoración previa y prevalece una tendencia creciente positiva.

4.7 Análisis de sensibilidad

El corpus establece que el análisis de sensibilidad consideró variaciones de $\pm 10\%$ respecto de los valores iniciales, y que dicho análisis prueba la estabilidad del modelo y la solidez de los resultados.

Tabla 8. Parámetros y rangos del análisis de sensibilidad



Elaborado con Tableau Desktop 2026

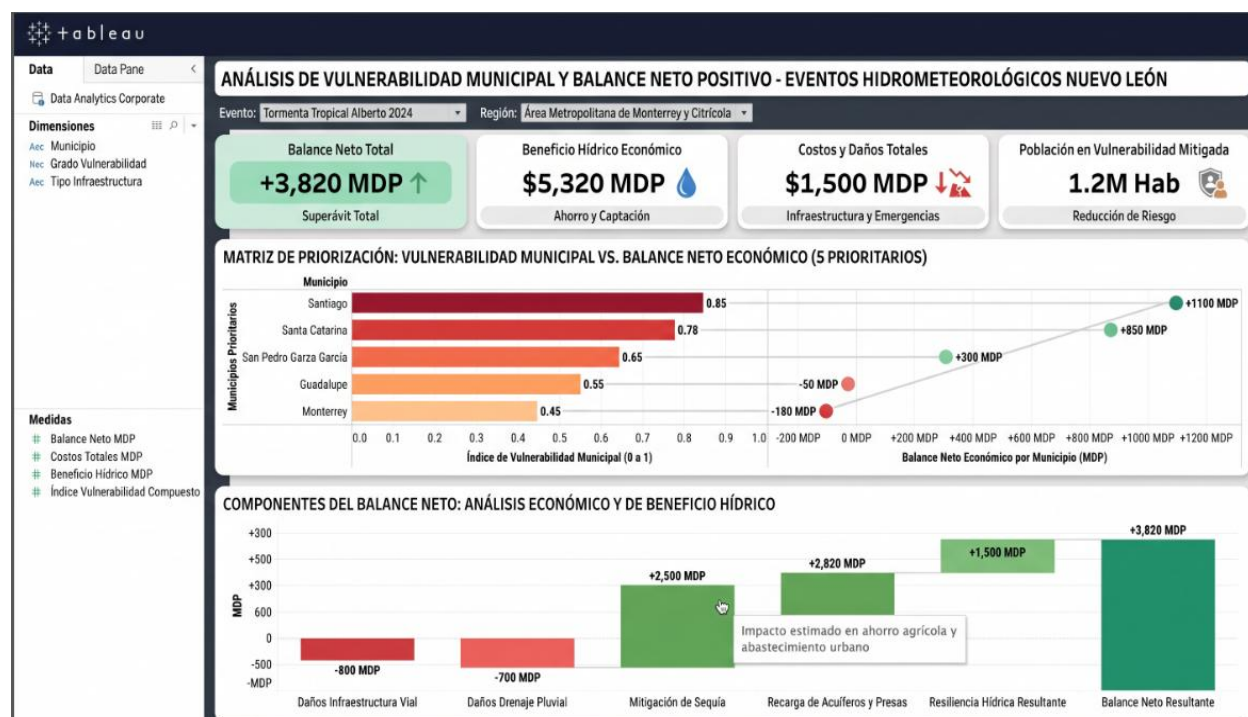
En lo que compete a la sensibilidad del balance costo-beneficio ante cambios en los supuestos del modelo. Considera variaciones del tipo de cambio ($\pm 5\%$), coeficiente de escurrimiento ($\pm 20\%$), coeficiente de infiltración ($\pm 25\%$), valor unitario del agua ($\pm 30\%$) y elasticidad del viento ($\pm 10\%$). Asimismo, incorpora una participación de costos indirectos en el exterior de $15.6\% \pm 5$ puntos porcentuales, equivalente a un intervalo de 10.6% a 20.6% , y cuatro escenarios del DII: 28.84, 29.63, 30.05 y 30.85 respectivamente. Estos intervalos representan fuentes de incertidumbre cambiaria, hidrológica, económica y de transmisión de efectos mediante cadenas de valor. Los controles en Tableau permiten seleccionar parámetros y escenarios para explorar su influencia sobre el resultado. Sin embargo, la amplitud del rango asignado no demuestra por sí misma una mayor sensibilidad: esta debe determinarse mediante el cambio que cada variación produce en el balance, manteniendo constantes los demás parámetros o definiendo escenarios conjuntos.

La parametrización propuesta proporciona una base para evaluar la robustez del balance costo-beneficio frente a la incertidumbre. No obstante, la tabla describe los supuestos del análisis, no sus resultados; identificar los factores determinantes y establecer si el balance conserva su signo requiere reportar las variaciones obtenidas y justificar empíricamente los rangos utilizados.

4.8 Diseño de tableros

El tablero reporta un balance neto positivo de **3,820 millones de pesos**, derivado de beneficios hídricos superiores a los costos y daños registrados. Sin embargo, este resultado agregado contrasta con los balances negativos de Guadalupe y Monterrey, evidenciando diferencias territoriales que requieren atención específica.

Tabla 9. Tablero Vulnerabilidad y Balance Neto



Elaborado con Tableau Desktop 2026

Beneficio hídrico económico: 5,320 MDP. Representa el valor estimado de los beneficios por mitigación de sequía (2,500 MDP) y recarga de acuíferos y presas (2,820 MDP), asociados con una mayor disponibilidad de agua.

Costos y daños totales: 1,500 MDP. Corresponde a los daños registrados en infraestructura vial (800 MDP) y drenaje pluvial (700 MDP). Al restarlos del beneficio hídrico se obtiene el balance neto de 3,820 MDP.

Población con vulnerabilidad mitigada: 1.2 millones de habitantes. Indica la población que, según el tablero, experimentaría una reducción del riesgo. Esta cifra no significa que la vulnerabilidad haya desaparecido y requiere precisar el método de estimación y el grado de reducción alcanzado.

5. Discusión

El protocolo propuesto contribuye a cerrar una brecha identificada en la literatura y permite derivar seis implicaciones.

Primera: el componente indirecto es sustancial y no debe omitirse. En el ejercicio unirregional el componente indirecto alcanzó 29% del costo total, con un DII de 28.84% en el escenario base; en el ejercicio multirregional alcanzó 20.1% del total, con 15.6% de esos costos ocurriendo fuera del territorio nacional y 47% de ellos en Estados Unidos. Un análisis costo-beneficio que ignore los costos indirectos subestima el numerador del costo de manera significativa.

Segunda: la concentración sectorial es extrema. Los sectores electricidad, gas y agua; concentran 81% del daño total del evento, 93% de los daños directos y 39% de los daños indirectos. Mientras tanto, el sector transporte y almacenamiento concentra 31% del total indirecto y la industria manufacturera 22%.

Tercera: existen sectores vulnerables de manera indirecta sin haber sido impactados directamente. Los sectores restantes fueron afectados principalmente por daños indirectos a pesar de no haber sido alcanzados directamente, y los sectores de servicios al final de la cadena productiva resultan proporcionalmente los más afectados. Este hallazgo respalda la pertinencia de modelar el balance con granularidad sectorial.

Cuarta: la intensidad del viento no es el único determinante del daño. El corpus documenta que tormentas de categoría inferior acompañadas de lluvias intensas y mayor vulnerabilidad pueden resultar en daños considerables, como lo ilustra el contraste entre el huracán Stan, de categoría 1, con daño superior al del huracán Emily, de categoría 4. Para Nuevo León, entidad no costera, la variable predictora relevante es la precipitación extrema.

Quinta: el balance requiere medir cuidadosamente el lado positivo. El corpus provee los coeficientes de aporte ciclónico a la precipitación, entre 55% y 60% en zonas áridas y semiáridas y cerca de 20% en otras regiones, pero no provee series de niveles de presa ni de recarga de acuíferos para Nuevo León. La contribución metodológica radica precisamente en definir la estructura que integre esos datos cuando estén disponibles.

6. Limitaciones

El estudio reconoce seis limitaciones.

6.1 Limitaciones del corpus. La limitación principal es que el corpus no contiene datos específicos de la Tormenta Tropical Alberto ni series de niveles de presa o de recarga de acuíferos de Nuevo León. El protocolo se propone como arquitectura, no como resultado empírico.

6.2 Limitaciones del modelo de insumo-producto. El modelo constituye una representación estática basada en una función de producción de proporciones fijas y precios fijos, que no considera la sustitución de insumos ni las importaciones. Los modelos de equilibrio general aplicado, que podrían superar estas restricciones, incrementan considerablemente el número de parámetros con calibración exógena y asumen equilibrio permanente, supuesto insostenible ante un fenómeno natural.

6.3 Limitaciones de datos. El principal reto de los estudios pioneros fue la falta de datos para los daños directos y su grado de agregación. La información sobre afectación a la fuerza laboral y al consumo de los hogares es escasa, lo que obligó a considerar diversos escenarios.

6.4 Limitaciones estadísticas. La estructura de los datos impone limitaciones en términos de atrición de la muestra, común en encuestas de establecimientos; aunque los efectos fijos mitigan ciertos efectos, la atrición puede ser un problema no despreciable.

6.5 Limitaciones de armonización. Existen discrepancias entre bases de datos en términos de los datos y los periodos reportados, lo que enfatiza la necesidad de armonizar metodologías nacionales e internacionales de reporte de desastres.

6.6 Limitaciones del análisis de componentes principales. La sensibilidad temporal refleja la naturaleza heterogénea de los impactos de los desastres, con daños económicos particularmente variables por factores como inflación, desarrollo económico y patrones cambiantes de vulnerabilidad, lo que subraya la necesidad de considerar cuidadosamente el periodo de estudio.

7. Conclusiones

El artículo propone un protocolo metodológico de naturaleza reproducible para el análisis costo-beneficio de ciclones tropicales en Nuevo León mediante el software estadístico Tableau, que reporta la siguiente síntesis;

1. La evidencia publicada proporciona una base paramétrica sólida y trazable. Los cuatro documentos revisados aportan costos directos e indirectos desagregados sectorialmente, escenarios de sensibilidad, índices de daño, distribuciones territoriales, elasticidades de producción, probabilidades anuales de impacto y coeficientes de aporte de los ciclones a la precipitación.
2. El caso de Nuevo León presenta una doble cara documentada. La misma región que registra condiciones propicias para inundaciones y deslizamientos presenta condiciones de sequía, y los ciclones tropicales son una fuente activa de recarga de agua para acuíferos, ríos, lagos y presas.
3. El protocolo establece una arquitectura completa y auditable, con diecinueve parámetros de calibración, siete tablas de hechos, nueve dimensiones, dieciséis campos calculados y diez reglas de validación.
4. La formulación del balance costo-beneficio integra dimensiones de impacto y reconoce explícitamente el estatus no monetizado del componente social.
5. La fase empírica requiere la incorporación de seis fuentes oficiales primarias: trayectorias y vientos máximos sostenidos, daños oficiales, precipitación, niveles de presa, recarga de acuíferos y un valor unitario del agua explícito y documentado.

Su implementación facilita la integración, visualización y verificación de indicadores económicos, hídricos y sociales y la validación empírica requiere fuentes oficiales, parámetros documentados y un tratamiento diferenciado de los impactos no monetizados.

El análisis de sensibilidad permitirá evaluar la robustez de los resultados y reconocer sus principales fuentes de incertidumbre. Con ello, se busca aportar evidencia para orientar la gestión del riesgo y la planificación hídrica con una perspectiva territorial.

8. Recomendaciones

1. Incorporar las seis fuentes oficiales primarias señaladas para habilitar la fase empírica.
2. Instrumentar las diez reglas de validación como umbrales automáticos dentro del extracto analítico.
3. Documentar las cinco discrepancias identificadas y la decisión adoptada en cada caso.
4. Ejecutar el análisis de sensibilidad sobre los cuatro escenarios del corpus, además del escenario base.
5. Publicar el modelo con su hoja de metadatos y linaje, para permitir la replicación independiente.

Referencias

Documentos base para matizar los cuatro escenarios

1. Castillo-Loeza, D. E., Romero, D., & Quesada-Román, A. (2025). Tropical cyclones in Mexico: A comparative analysis and a composite socioeconomic damage index. *Economics of Disasters and Climate Change*, 9, 495–517. <https://doi.org/10.1007/s41885-025-00179-3>
2. Juárez-Torres, M., & Puigvert, J. (2021). *The effect of tropical cyclones on economic activities: Micro level evidence from Mexico for secondary and tertiary activities* (Documento de Investigación 2021-24). Banco de México. [The effect of tropical cyclones on economic activities: micro level evidence from Mexico for secondary and tertiary activities | Semantic Scholar](https://doi.org/10.1007/s41885-025-00179-3)
3. Mendoza Tinoco, D., Méndez Delgado, A. V., & Mercado García, A. (2019). Economic costs of hurricane Alex in Nuevo León, Mexico. *Problemas del Desarrollo*, 50(198). <https://doi.org/10.22201/ieec.20078951e.2019.198.67469>
4. Mercado García, A., Mendoza-Tinoco, D., & Méndez Delgado, A. V. (2025). Análisis de impacto económico multirregional de un desastre en México. El huracán Alex en el noreste del país en 2010. *Ensayos. Revista de economía*, 44(1). <https://doi.org/10.29105/ensayos44.1-2>

Informes Oficiales de Impacto y Desastres (CENAPRED y Protección Civil)

5. Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2011). *El huracán Alex en Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila, 2010: Impacto social y económico* (Serie Impacto Socioeconómico de los Desastres en México, Núm. 12). Secretaría de Gobernación; [CENAPRED](#)
6. Centro Nacional de Prevención de Desastres. (1989). *El huracán Gilberto en México: Sus efectos sociales y económicos* (Monografía técnica Núm. 2). Secretaría de Gobernación; [CENAPRED](#)
7. Instituto de Geografía, UNAM, & Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2015). *Atlas Nacional de Riesgos: Fenómenos hidrometeorológicos* (Tomo II). Universidad Nacional Autónoma de México; [Atlas Nacional de Riesgos](#)

Hidrología, Capacidad de Presas y Almacenamiento (CONAGUA y Gobierno Estatal)

8. Comisión Nacional del Agua. (2023). *Boletín hidrológico mensual: Análisis de precipitaciones, escorrentías y gastos máximos en el Organismo de Cuenca Río Bravo* (Edición Enero 2023). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; [Comisión Nacional del Agua](#)
9. Comisión Nacional del Agua. (2024). *Reporte de monitoreo de presas y capacidad disponible: Sistema Presa La Boca, Cerro Prieto y El Cuchillo* (Reporte Operativo Marzo-Junio 2024). Subdirección General Técnica, <https://presas.conagua.gob.mx/inventario/>
10. Gobierno del Estado de Nuevo León. (2024). *Evaluación preliminar de daños en infraestructura vial y beneficios de recarga hídrica post-sequía tras el paso de la Tormenta Tropical Alberto*. Coordinación de Protección Civil y Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM). [Evaluaciones | 2024 | Gobierno del Estado de Nuevo León](#)

Metodología de Evaluación de Desastres y Cuentas Económicas (CEPAL e INEGI)

11. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2020). *Metodología para la evaluación de desastres en América Latina y el Caribe: Manual para la estimación de efectos socioeconómicos y ambientales* (4.ª ed., Publicación de las Naciones Unidas LC/TS.2020/75). CEPAL. [Publicaciones | CEPAL](#)
12. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). *Censo de Población y Vivienda 2020: Base de datos sobre vulnerabilidad sociodemográfica y vivienda en zonas de riesgo hidrometeorológico*. <https://www.inegi.org.mx/app/publicaciones/>
13. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). *Sistema de Cuentas Nacionales de México: Impacto económico de los eventos hidrometeorológicos y matrices insumo-producto 2010–2020*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/publicaciones/>

Estudios Académicos de Vulnerabilidad y Resiliencia Hídrica

14. Domínguez, J., & Rodríguez, M. (2019). Análisis de la vulnerabilidad socioeconómica ante ciclones tropicales e inundaciones en cuencas urbanas de México. *Investigaciones Geográficas*, (100), e59947. <https://doi.org/10.14350/rig.59947>
15. Flores, E., & Sánchez, R. (2023). Modelado hidrodinámico y evaluación de riesgo por inundaciones pluviales en el Área Metropolitana de Monterrey: Integración de variables técnicas y censales. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 44(1), 56–72. [Ingeniería Hidráulica y Ambiental. 2023, Vol. 44, Nº. 1 - Dialnet](#)
16. Magaña, V., Pérez, L., & Gómez, A. (2021). Riesgo de desastre por fenómenos hidrometeorológicos en el contexto del cambio climático en el norte de México: Retos para la resiliencia y el balance hídrico urbano. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 38(2), 145–162. <https://doi.org/10.1016/j.rmcs.2021.03.001>