

METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO AMBIENTAL (IRA) PARA EL ESTADO DE HIDALGO.

La integración de este apartado tiene como ejes fundamentales la adaptación, para lo anterior se toman como categorías básicas la energía, el comportamiento agrícola, la situación de la ganadería, el agua en su relación con el consumo humano, las acciones sobre el sector económico del turismo, la salud pública sobre la población, los impactos y presión sobre transporte e industria así como las diversas relaciones que se establecen en los diversos sistemas de asentamientos humanos, que para el caso del Estado de Hidalgo son sus sistemas de ciudades. Los cuales han sido abordados de la misma forma en el apartado anterior de Mitigación. Pero aunado a los múltiples escenarios de incidencia de los GEI, se incorporaron sus diversas condiciones económicas, políticas y sociales a la par de los principales de eventos climáticos en las diversas regiones, su población y las formas de afectación. Todo lo anterior para definir tres sistemas fundamentales, los cuales conforman un Indicador de Riesgo al interior del Estado de Hidalgo, el cual nos podrá definir todos aquellos espacios sociales y económicos, pero en relación de la composición de afectación ante el cambio climático.

La composición del clima ahora se integra con base al PEACCH, el cual nos define la relación básica que se establecerá entre los diversos cambios provocados a través del tiempo sobre determinadas zonas y en temas de cambio climático (temperatura, lluvia) y su impacto sobre las poblaciones humanas que están actuando directamente en dichas zonas. En este caso se tiene que saber que ante cualquier cambio del clima tendrá un impacto directo sobre esos asentamientos humanos. Dichos impacto estarán en relación de las propias capacidades de los grupos humanos en afectación. Implicando una relación directa con estas posibilidades de adaptación, y según su propia composición de vulnerabilidad y riesgo. Es decir, los grupos humanos están en condiciones de vulnerabilidad y riesgo cuando se desbordan aquellas variables que mantenían bajo cierto control. Como es el caso de la siembra, la construcción, asentamientos, infraestructura, alimentación, enfermedades, abasto de agua limpia y sus sistemas productivos.

El marco de referencia de los criterios de vulnerabilidad y adaptabilidad ha estado normando y señalado en grandes líneas mediante organismos internacionales y nacionales, que a su vez han servido para el diseño de políticas públicas. De esta forma se logran establecer las consideraciones básicas en sus aspectos sociodemográficos, económicos, culturales y de gobernabilidad.

En forma general estos conceptos han estado en torno a ciertas ideas:

La adaptación se establece en relación con la respuesta positiva o negativa del cambio climático. En la cual se refiere a los diversos ajustes, pasivo, reactivo o anticipado de los grupos humanos para reaccionar a las consecuencias actuales y anticipadas con el cambio climático. De esta forma se reconoce la existencia del cambio climático como una realidad, que a su vez debe tener una intervención en sus consecuencias a través de las políticas públicas. La adaptación al cambio climático es la capacidad de los sistemas humanos y naturales para ajustarse, espontaneo u ordenadamente a los impactos climáticos adversos.

La vulnerabilidad es la situación en que un sistema natural o social es sensible a sufrir ciertos daños del cambio climático, por lo cual se deben establecer indicadores que muestren la capacidad de respuesta del cualquier sistema a los cambios climáticos. Los grados de respuesta de cualquier sistema se establecen como los efectos benéficos y dañinos.

Así, la capacidad de adaptación, en las cuales hacen ajustes a las prácticas, procesos o estructuras para contrarrestar el potencial de daño o tomar ventajas de oportunidades creadas por el cambio climático. Un sistema altamente vulnerable será aquel más sensible a ciertos cambios pequeños en el clima, incluyendo el potencial de los efectos dañinos, y por lo cual tienen restricciones de adaptación.

La vulnerabilidad es aquella situación en la cual hay cierto grado para el cual una unidad se exposición es afectad de manera adversa como resultados de los efectos del clima. Esta tiene una fuerte relación entre los factores físicos con los sociales y económicos, los cuales según su propia relación determinan sus niveles de vulnerabilidad.

De esta forma la vulnerabilidad es esa probabilidad de que aquella comunidad que está expuesta a una amenaza natural, pueda sufrir daños humanos y materiales, según su propia fortaleza y fragilidad de los elementos que la constituyen como grupos humanos. Entre ellos su infraestructura, vivienda, unidades productivas, sistemas de protección, formas de instituciones, organización política y de gobernabilidad.

Los niveles de daños marcan los niveles de vulnerabilidad. El tipo y caracterización de los daños en sí no son significativos, si no están en relación en cómo las sociedades dan respuesta a los daños y enfrentan los riesgos para recuperase de los desastres, tanto en su organización social como en la fortaleza de su economía. O en todo caso en las propias probabilidades de genera ideas de prevención o respuesta ante los daños y las reducciones de los riesgos.

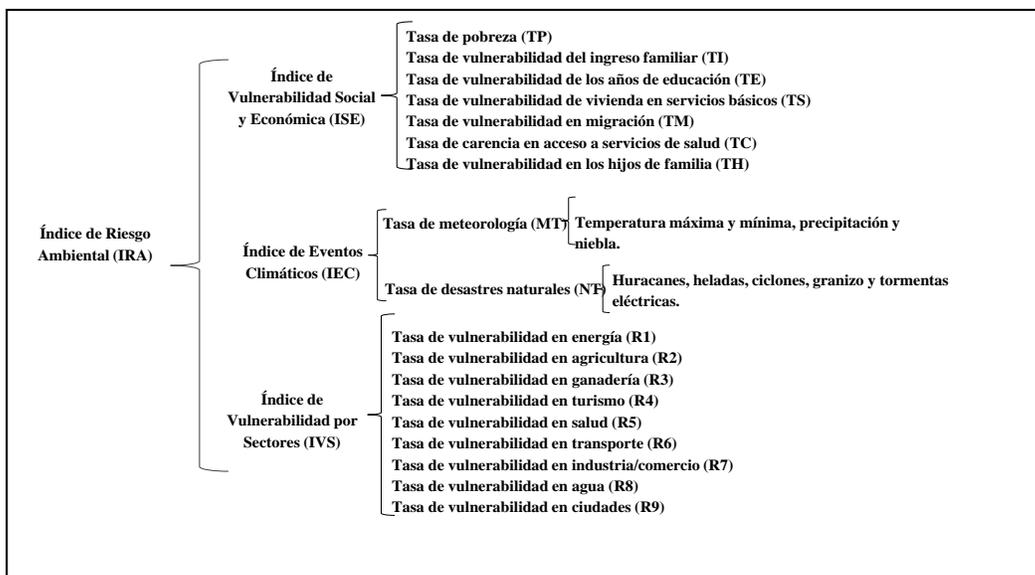
Para conocer los escenarios del riesgo se debe analizar la vulnerabilidad y la adaptación y relacionarlos con indicadores que resuelvan adecuadamente el modelo conceptualizado. Así la adaptación son ciertos conjuntos de medidas asociadas o dirigidas a promover cambios, ajustes e innovación de nuevas metodologías y conocimientos. Y que mantienen una relación con el individuo, sus formas de vida, sistemas de producción, modelos de organización social y configuración de sistemas. La vulnerabilidad estará definida por las variables que actúan sobre el mejoramiento de las condiciones desfavorables en individuos, contextos, sectores y sistemas

de organización social. Los cuales han integrarse en un solo modelo de análisis nos posibilitan definir los diversos niveles de riesgo.

Esto nos debe de llevar a plantear el riesgo como el elemento principal de los indicadores que den cuenta de los tres sistemas fundamentales de las comunidades humanas en el Estado de Hidalgo. Así como conocer la relación entre estos tres y sus distancias o brechas de desventaja, o en su caso la condición de vulnerabilidad de cada uno de ellos. A su vez hay que integrar las condiciones actuales e históricas de los diversos eventos climáticos que han estado incidiendo en la misma población. Esta población debe ser definida con claridad en sus aspectos de vida económica y organización social.

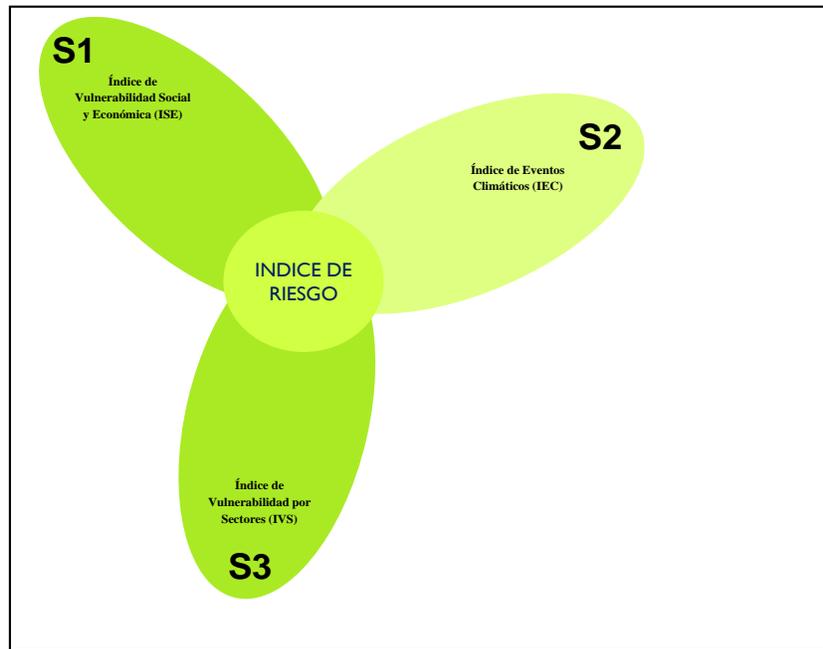
Si partimos de que la adaptabilidad es el ajuste en los sistemas naturales o humanos como respuesta a estímulos climáticos actuales o esperados, o sus impactos, que reduce el daño causado y que potencia las oportunidades benéficas, según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Pero que a su vez debe estar en relación de la resiliencia de los sistemas, es decir, las acciones para desarrollar la adaptabilidad deben ser medidas que aseguren el fortalecimiento de los diversos sistemas humanos, que se deriven en fortalecer la resiliencia de las personas y a no empeorar inadvertidamente su vulnerabilidad.

De esta forma hemos configurado la adaptabilidad a través de un indicador de riesgo, el cual a su vez nos ofrezca la composición de los sistemas (S1, S2, S3). Y en la cual cada sistema defina sus variables para tener claro los escenarios de Resiliencia. Es decir, debemos integrar el Indicador de Riesgo para finalmente definir las acciones de intervención para fortalecer esas variables, territorios, municipios, regiones sectores y población. Ese fortalecimiento es la focalización de la Resiliencia, la cual a su vez definirá la estrategia de Adaptación ante el cambio climático en el Estado de Hidalgo.



Fuente: elaboración del grupo de investigación de la UAEH. López, S. (2017).

La conformación de esos tres sistemas, dan la posibilidad de conformar un modelo de Riesgo.



Fuente: elaboración del grupo de investigación de la UAEH. López, S. (2017).

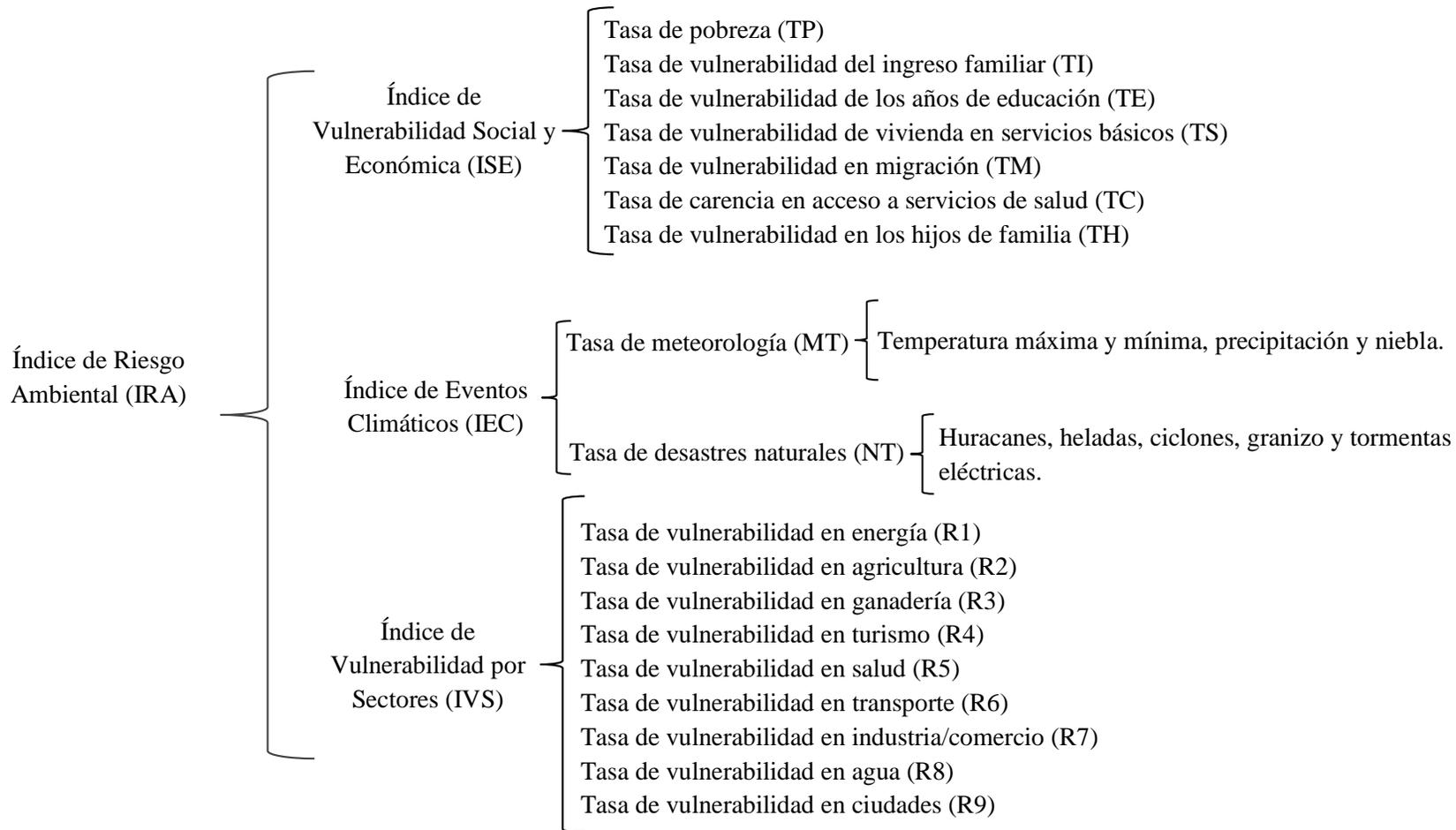
MODELO ESTADÍSTICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ÍNDICE DE RIESGO AMBIENTAL (IRA) EN EL ESTADO DE HIDALGO

1- Planteamiento del Índice de Riesgo Ambiental

Objetivo: construir un modelo estadístico que prediga el grado riesgo ambiental, en los municipios del estado de Hidalgo, tomado como referencia la Estrategia Nacional de Cambio Climático del anexo I (metodología del diagnóstico de adaptación), visión 10 – 20 – 40.

- **Índice de Riesgo Ambiental (IRA):** mide el grado de vulnerabilidad ambiental de los 84 municipios del estado de Hidalgo.

El IRA se conforma de los siguientes indicadores:



Todo bajo las siguientes hipótesis:

A mayor ISE, mayor IRA

- A mayor TP, mayor ISE
- A mayor TI, mayor ISE
- A mayor TE, mayor ISE
- A mayor TS, mayor ISE
- A mayor TM, mayor ISE
- A mayor TC, mayor ISE
- A mayor TH, mayor ISE

A mayor IVS, mayor IRA

- A mayor ET, mayor IVS
- A mayor AT, mayor IVS
- A mayor GT, mayor IVS
- A mayor TT, mayor IVS
- A mayor ST, mayor IVS
- A mayor TV, mayor IVS
- A mayor CT, mayor IVS
- A mayor TA, mayor IVS
- A mayor VT, mayor IVS

A mayor IEC, mayor IRA

- A mayor MT, mayor IEC
 - ✓ A mayor temperatura, mayor MT
 - ✓ A menor temperatura, mayor MT
 - ✓ A mayor precipitación, mayor MT
 - ✓ A mayor neblina, mayor MT
- A mayor NT, mayor IEC
 - ✓ A mayores huracanes, mayor NT
 - ✓ A mayores heladas, mayor NT
 - ✓ A mayores ciclones, mayor NT
 - ✓ A mayor granizo, mayor NT
 - ✓ A mayores tormentas eléctricas, mayor NT

Estas hipótesis dan pie para construir el modelo estadístico de riesgo ambiental: en la medida que este se incrementa, mayor riesgo ambiental.

2- Elección del tipo de modelo estadístico

El presente modelo está sustentado en los valores esperados de estadística descriptiva:

- Media aritmética: si existen $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ números positivos su valor esperado se expresa de la siguiente forma:

$$E(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad 1, 2, \dots, n$$

- Media geométrica: : si existen $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ números positivos su valor esperado se expresa de la siguiente forma:

$$E(x) = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i} ; \quad 1, 2, \dots, n \quad \text{tal que } x_i > 0$$

- Media armónica: si existen $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ números positivos su valor esperado se expresa de la siguiente forma:

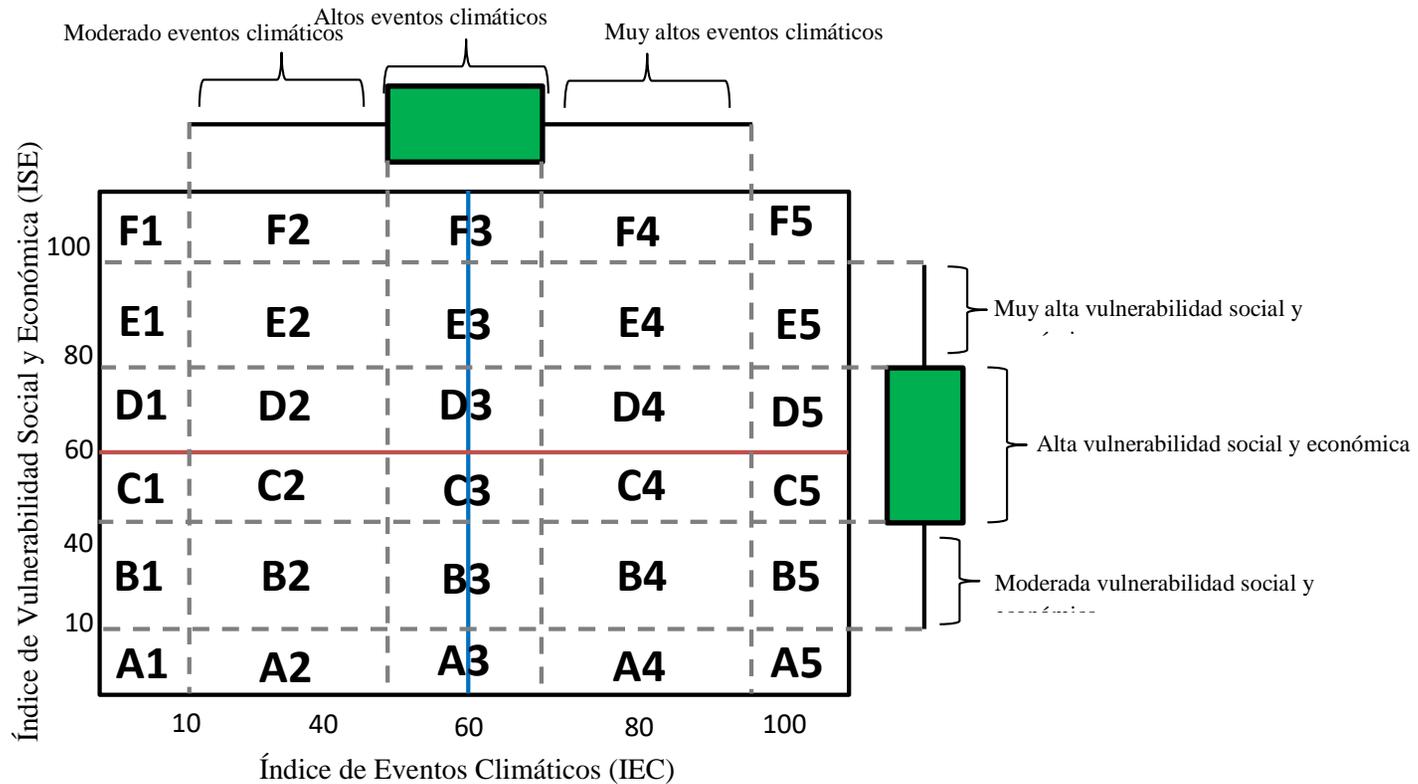
$$E(x) = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}} = \frac{1}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_n}}$$

- Intervalos de confianza: sea X una variable aleatoria cuya distribución depende de un parámetro θ , y sea un muestra aleatoria simple de X, se dice que T_1 y T_2 son estimadores totales que:

$$p[T_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \theta \leq T_2(x_1, x_2, \dots, x_n)] = 1 - \alpha$$

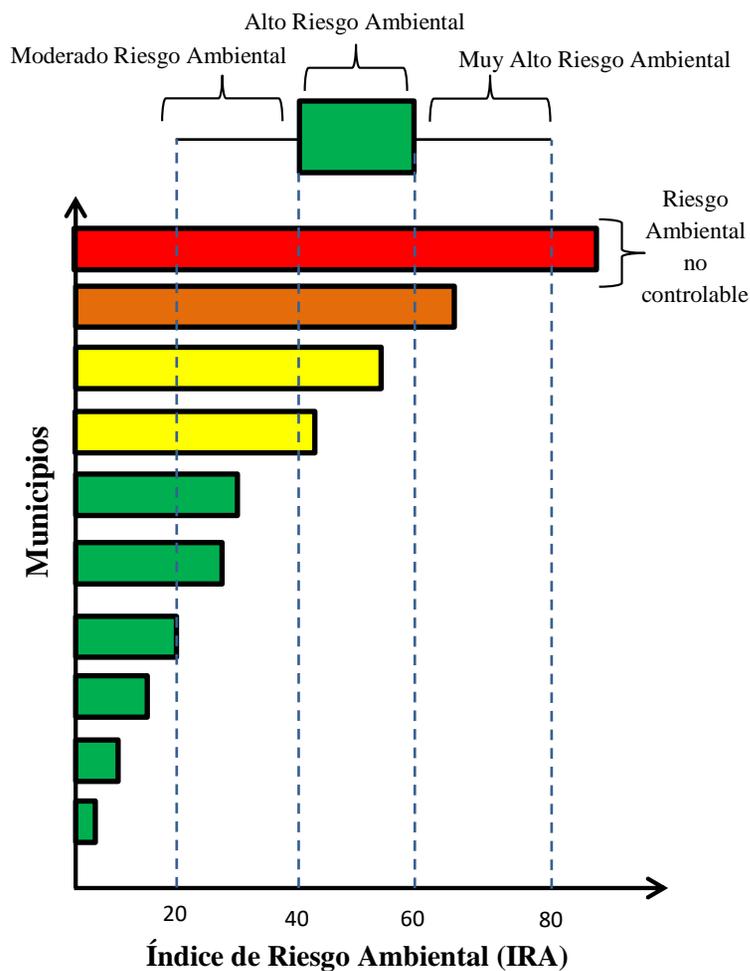
Aunado a lo anterior, la construcción de las tasas que conforman al IRA y sus derivados están en distinta simetría, para lo cual se utilizó la metodología del Banco Interamericano de Desarrollo en la construcción del Índice de Desarrollo Humano, dicha metodología consiste en lo siguiente en la aplicación de logaritmos sobre las variables que actúa sobre tal indicado, con la aplicación de esta herramienta estadística se minimizan las distancias que existen entre cada una de las observaciones analizadas. Por otro lado, los gráficos a utilizar en las proyecciones los siguientes:

Gráfico de vulnerabilidad social y ambiental



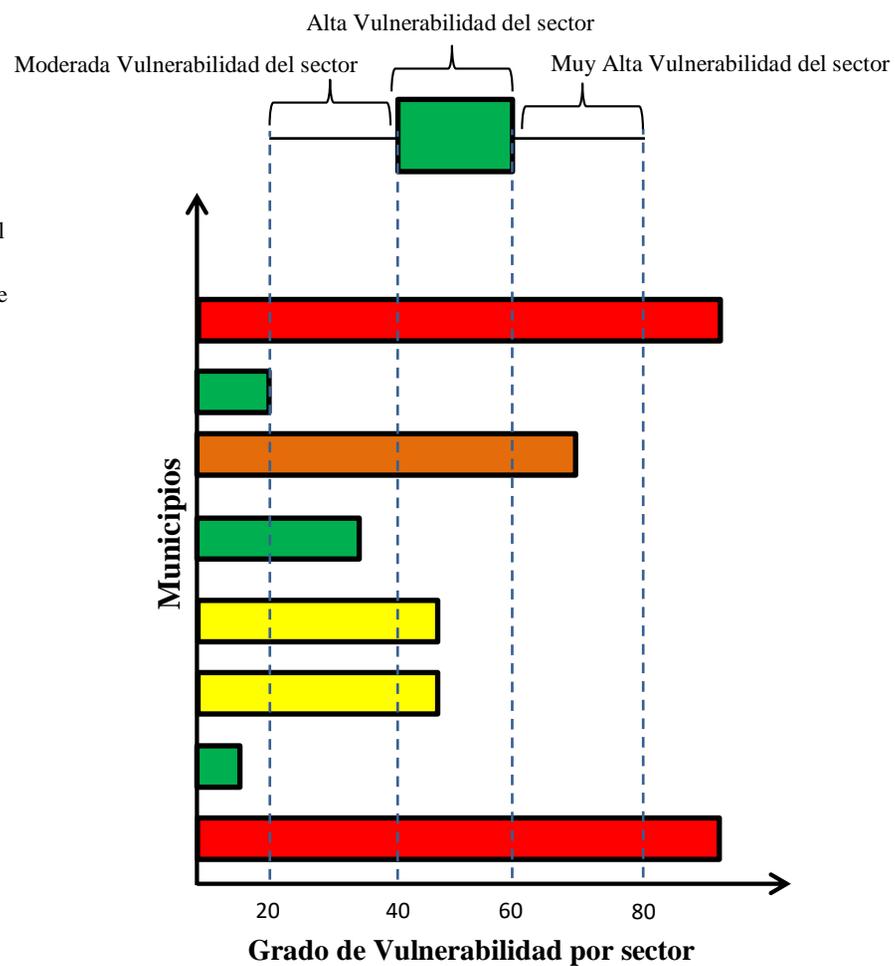
En este grafico se puede observar el grado de vulnerabilidad de los municipios cuando estos tienen poca capacidad para hacerle frente a los eventos climáticos. Si un municipio se localiza en la celda F5 no tiene elementos económicos y sociales para hacerle frente a los eventos climáticos, si tal municipio se localiza en la celda A5, tiene determinados elementos económicos y sociales para afrontar los eventos climáticos, si se localiza A1, su solvencia económica social es muy adecuada para superar el peño evento climático. Otro grafico a analizar es siguiente:

Gráfico de ranqueo de IRA



En este gráfico se hace un ranqueo de mayor a menor riesgo ambiental en los municipios de la entidad federativa, para lo cual se toma como referencia el Índice de Riesgo Ambiental.

Gráfico por sector económico



En este gráfico se hace una predicción del grado de vulnerabilidad del sector X en los municipios de la entidad federativa, para lo cual se toma como referencia la tasa vulnerabilidad en el sector.

3- Formalización del modelo estadístico del Índice de Riesgo Ambiental (IRA)

Con base en lo anterior, la expresión algebraica para calcular el IRA es la siguiente:

$$IRA = \sqrt[3]{(ISE)(IEC)(IVS)} \quad \text{tal que } 0 \leq IRA \leq 100 \quad \text{y} \quad ISE \neq 0; IEC \neq 0; IVC \neq 0 \quad \rightarrow \quad (1)$$

Donde:

- ISE es el Índice de vulnerabilidad social y económica.
- IEC es el Índice de eventos climáticos.
- IVS es el Índice de vulnerabilidad por sector.

Índice de Vulnerabilidad Social y Económica (ISE)

Mide el grado de no bienestar social y económico de los municipios, su expresión algebraica es:

$$ISE = \frac{7}{\frac{1}{TP} + \frac{1}{TI} + \frac{1}{TE} + \frac{1}{TS} + \frac{1}{TM} + \frac{1}{TC} + \frac{1}{TH}} \quad \rightarrow \quad (2)$$

Donde:

Tasa de Pobreza (TP)	Tasa de vulnerabilidad del ingreso familiar (TI)	Tasa de vulnerabilidad de los años de educación (TE)	Tasa de vulnerabilidad de vivienda en servicios básicos (TS)	Tasa de vulnerabilidad en migración (TM)	Tasa de carencia en acceso a servicios de salud (TC)	Tasa de vulnerabilidad en los hijos de familia (TH)
----------------------	--	--	--	--	--	---

No se requiere de transformación	$TI = \left[1 - \left(\frac{\lg(xi)}{\lg(\sum xi)}\right)\right] * 100$	$TE = \left[1 - \left(\frac{\lg(xi)}{\lg(\sum xi)}\right)\right] * 100$	TS (100 – TVS) TVS es la tasa de vivienda con servicios.	$TM = \left[1 - \left(\frac{\lg(xi)}{\lg(\sum xi)}\right)\right] * 100$	No se requiere de transformación	$TM = \left[\left(\frac{\lg(xi)}{\lg(\sum xi)}\right)\right] * 100$
----------------------------------	---	---	--	---	----------------------------------	---

- x_i es el i-ésimo dato de variable analizada
- $\sum x_i$ es la suma de los datos de la variable analizada.

Índice de Eventos Climáticos (IEC)

Mide el grado de presencia de eventos climáticos en los municipios, su expresión algebraica es:

$$IEC = MT + NT ; \quad 0 \leq IEC \leq 100 \quad \rightarrow \quad (3)$$

Donde:

- IM es la tasa de meteorológica ambiental
- IDN es la tasa de desastres naturales

La Tasa de Meteorológica Ambiental (MT) se obtiene de la siguiente forma:

$$MT = \left[50 - \sum_{i=1}^n Y_i\right] ; \quad i = 1,2,3, \dots, n \quad \rightarrow \quad (3.1)$$

Tal que:

Tasa de temperatura máxima (Y ₁)	Tasa de temperatura mínima (Y ₂)	Tasa de precipitación (Y ₃)	Tasa de niebla (Y ₄)	Tasa de granizo (Y ₅)	Tasa de tormentas eléctricas (Y ₆)
$Y_1 = \left[\left(\frac{\lg(1 + y_i)}{\lg(45)} \right) \right]$ * 8.34	$Y_2 = \left[1 - \left(\frac{\lg(1 + y_i)}{\lg(\sum y_i)} \right) \right]$ * 8.34	$Y_3 = \left[\left(\frac{\lg(1 + y_i)}{\lg(\sum y_i)} \right) \right]$ * 8.34	$Y_4 = \left[\left(\frac{\lg(1 + y_i)}{\lg(\sum y_i)} \right) \right]$ * 8.34	$Y_5 = \left[\left(\frac{\lg(1 + y_i)}{\lg(\sum y_i)} \right) \right]$ * 8.34	$Y_6 = \left[\left(\frac{\lg(1 + y_i)}{\lg(\sum y_i)} \right) \right]$ * 8.34

- y_i es el i-ésimo dato de variable analizada
- 45 es la temperatura máxima que se puede alcanzar
- $\sum y_i$ es la suma de los datos de la variable analizada

La Tasa de desastres naturales (NT) se obtiene de la siguiente forma:

$$NT = \left[\frac{\lg(1 + W_i)}{\lg(W_t)} \right] * 50 \rightarrow (3.2)$$

Donde:

- W_i es el total de eventos de desastres naturales en el i-esimo municipio
- W_t es el máximo de eventos que se pueden presentar:

$$W_t = \left[(1.96) \left(\sqrt{\text{var}(w_i)} \right) + \bar{W}_i \right] \rightarrow (3.2.1)$$

Tal que:

- \bar{W}_i es el promedio de eventos naturales en el estado.
- $\sqrt{\text{var}(w_i)}$ es la desviación estándar de los eventos naturales en el estado.

Índice de Vulnerabilidad por Sector (IVS)

Mide el grado de vulnerabilidad por sector productivo, en cada uno de los municipios de la entidad, y se calcula de la siguiente forma:

$$IVS = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^n R_i \rightarrow (4)$$

Donde:

- R_i son los distintos sectores productivos de la entidad:

Tasa de vulnerabilidad en energía (R1)	Tasa de vulnerabilidad en agricultura (R2)	Tasa de vulnerabilidad en ganadería (R3)	Tasa de vulnerabilidad en turismo(R4)	Tasa de vulnerabilidad en salud (R5)
$R1 = \left[1 - \left(\frac{\lg(ri)}{\lg(\sum ri)} \right) \right] * 100$	$R2 = \left[\left(\frac{\lg(ri)}{\lg(\sum ri)} \right) \right] * 100$	$R3 = \left[\left(\frac{\lg(ri)}{\lg(\sum ri)} \right) \right] * 100$	$R4 = \left[1 - \left(\frac{\lg(ri)}{\lg(\sum ri)} \right) \right] * 100$	$R5 = \left[1 - \left(\frac{\lg(ri)}{\lg(\sum ri)} \right) \right] * 100$

Tasa de vulnerabilidad en el transporte (R6)	Tasa de vulnerabilidad en la industria – comercio (R7)	Tasa de vulnerabilidad del agua (R8)	Tasa de vulnerabilidad de las ciudades (R9)
$R6 = \left[1 - \left(\frac{\lg(ri)}{\lg(\sum ri)} \right) \right] * 100$	$R7 = \left[1 - \left(\frac{\lg(ri)}{\lg(\sum ri)} \right) \right] * 100$	$R8 = \left[1 - \left(\frac{\lg(ri)}{\lg(\sum ri)} \right) \right] * 100$	$R9 = \left[1 - \left(\frac{\lg(ri)}{\lg(\sum ri)} \right) \right] * 100$

- r_i es el i-ésimo dato de variable analizada

- $\sum r_i$ es la suma de los datos de la variable analizada.

Con base en lo anterior, ya se puede predecir el modelo de riesgo ambiental en el estado de Hidalgo.

4- Predicción de resultados

Para poder predecir el Índice de Riesgo Ambiental (IRA), se realizan tres fases:

- 1° fase: se predicen los Índices de ISE y IEC, y se contrastan ambos indicadores mediante la construcción de scree plot.
- 2° fase: se predice el índice de IVS, y se construye gráficos para cada sector productivo.
- 3° fase: se predice el índice de IRA, y mediante un gráfico se ranquea el grado de riesgo ambiental.

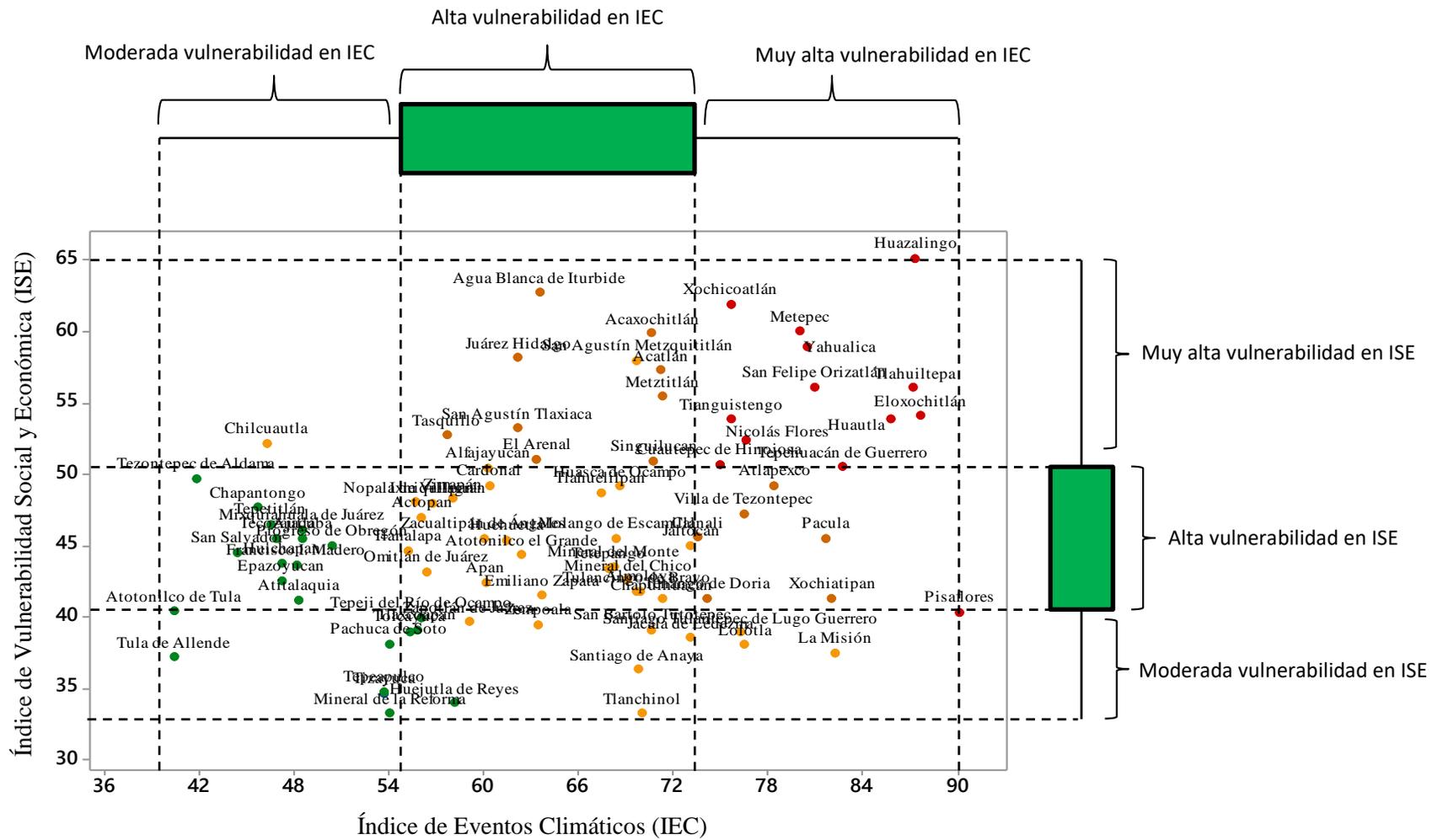
1° fase: ISE y IEC

Para el índice de ISE se utiliza la expresión algebraica (2) y para el IEC se utiliza la (3) y sus derivadas:

$$ISE = \frac{7}{\frac{1}{TP} + \frac{1}{TI} + \frac{1}{TE} + \frac{1}{TS} + \frac{1}{TM} + \frac{1}{TC} + \frac{1}{TH}}$$

$$IEC = MT + NT; \quad MT = \left[50 - \sum_{i=1}^n Y_i \right]; \quad NT = \left[\frac{\lg(1 + W_i)}{\lg(Wt)} \right] * 50 \quad y \quad Wt = \left[(1.96) \left(\sqrt{\text{var}(w_i)} \right) + \bar{W}_i \right]$$

Por tanto, los resultados son los siguientes:



Donde:

- ● Se integra por aquellos municipios que tiene muy alta vulnerabilidad en ambos índices (ISE y IEC).
- ● Se conforma por aquellos municipios que tienen muy alto vulnerabilidad en ISE y alto IEC, y viceversa.
- ● Se integra por aquellos municipios que tienen alta vulnerabilidad en ISE y IEC.
- ● Se conforma por aquellos municipios que tiene modera vulnerabilidad en ISE y IEC.

Con base en los resultados anteriores, estos se pueden interpretar de la siguiente forma:

Caso Huazalingo:

- Aplicando la expresión algebraica (1),

$$IRA = \sqrt[3]{(ISE)(IEC)(IVS)}; \text{ tal que } ISE = 65.13, IEC = 87.38 \text{ y } IVS = 94.9$$

Sustituyendo,

$$IRA = \sqrt[3]{(65.13)(87.38)(94.90)} = 81.44$$

El municipio de Huazalingo presenta un alto Índice de Riesgo Ambiental de 81.44 unidades, este resultado se debe a la alta vulnerabilidad social y económica con respecto a los eventos climáticos en la zona, es decir, con una probabilidad del 0.65 en vulnerabilidad social y económica y con una probabilidad del 0.87 en eventos climáticos, sus sectores se hacen altamente sensibles, por tanto, su probabilidad de riesgo ambiental seria del 0.81.

Caso Tula de Allende:

- Aplicando la expresión algebraica (1),

$$IRA = \sqrt[3]{(ISE)(IEC)(IVS)}; \text{ tal que } ISE = 37.20, IEC = 40.37 \text{ y } IVS = 45.60$$

Sustituyendo,

$$IRA = \sqrt[3]{(37.20)(40.37)(45.60)} = 40.91$$

El municipio de Tula de Allende presenta un moderado Índice de Riesgo Ambiental de 40.91 unidades, esto se debe a la baja vulnerabilidad social y económica con respecto a los eventos climáticos, es decir, con probabilidad de 0.37 en vulnerabilidad social y económica y con una probabilidad de 0.40 en eventos climáticos, sus sectores se hacen menos sensibles ante dichos eventos, por tanto, su probabilidad de riesgo ambiental sería del 0.41.

Caso Xochicoatlán:

- Aplicando la expresión algebraica (1),

$$IRA = \sqrt[3]{(ISE)(IEC)(IVS)}; \text{ tal que } ISE = 61.90, IEC = 75.68 \text{ y } IVS = 83.87$$

Sustituyendo,

$$IRA = \sqrt[3]{(61.90)(75.68)(83.87)} = 73.24$$

El municipio de Xochicoatlán presenta un alto Índice de Riesgo Ambiental de 73.24 unidades, esto se debe a la alta vulnerabilidad social y económica con respecto a los eventos climáticos, es decir, con una probabilidad de 0.62 en vulnerabilidad social y económica y con

una probabilidad de 0.76 en eventos climáticos, sus sectores se hacen más sensibles ante dichos eventos, por tanto, su probabilidad de riesgo ambiental sería del 0.73.

Caso Pachuca de Soto:

- Aplicando la expresión algebraica (1),

$$IRA = \sqrt[3]{(ISE)(IEC)(IVS)}; \text{ tal que } ISE = 38.15, IEC = 54.03 \text{ y } IVS = 60.13$$

Sustituyendo,

$$IRA = \sqrt[3]{(38.15)(54.03)(60.13)} = 49.86$$

El municipio de Pachuca de Soto presenta un moderado Índice de Riesgo Ambiental de 49.86 unidades, esto se debe a la baja vulnerabilidad social y económica con respecto a los eventos climáticos, es decir, con una probabilidad de 0.38 en vulnerabilidad social y económica y con una probabilidad de 0.54 en eventos climáticos, sus sectores se hacen más sensibles ante dichos eventos, por tanto, su probabilidad de riesgo ambiental sería del 0.50.