

# LA VULNERABILIDAD DE LA INDUSTRIA Y LOS SISTEMAS ENERGÉTICOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL.

María Teresa Sánchez Salazar y Maribel Martínez Galicia\*

## Resumen

Las diversas ramas industriales y los sistemas energéticos tienen entre sí diferencias notables en su grado de sensibilidad climática, lo cual necesariamente influye en su nivel de vulnerabilidad ante un cambio climático global. Ello se debe a una serie de factores de índole diversa, entre los que se puede mencionar la dependencia de recursos naturales, procesos industriales, mercados o ubicación geográfica sensibles al clima, entre otros.

Por otra parte, estas diferencias entre los grados de sensibilidad climática se combinan entre sí de manera más o menos compleja, pues existen sectores industriales cuya ubicación geográfica es preferentemente dispersa, en tanto que otros tienden a concentrarse en áreas urbanas. La combinación territorial de los sectores industriales y sistemas energéticos, y de grados diversos de sensibilidad frente a un cambio climático, provoca diferencias regionales y locales marcadas, en términos de vulnerabilidad. De ahí que en este trabajo se presenten, para el caso de México, las diferencias territoriales en el comportamiento de ambos sistemas, considerando una situación de cambio global, con base en la aplicación de los modelos CCC y GFDL-R30.

**Palabras clave:** Vulnerabilidad, sensibilidad climática, energía, industria, mercados.

### 1. Introducción

Este trabajo tiene como objetivos destacar los factores que inciden en la vulnerabilidad de la industria y los sistemas energéticos ante el cambio climático y su nivel de incidencia; determinar la dinámica de su comportamiento territorial, en particular los sectores más vulnerables ante el cambio climático, tomando como referencia el escenario base; y, finalmente, definir las particularidades y diferencias regionales que hay en México en el comportamiento de la industria y los sistemas energéticos, considerando una situación de cambio climático global, con base en la aplicación de los modelos de circulación general *Canadian Climate Center Model (CCC)* y *Geophysical Fluids Dynamics Laboratory (GFDL-R30)*.

### 2. Metodología

La metodología puede resumirse en los siguientes pasos: primero se determinaron los factores que influyen en la vulnerabilidad de la industria y de los sistemas energéticos y su nivel de incidencia y, segundo, se realizó un diagnóstico, tanto en el marco de un escenario base o actual, como en el caso de que llegara a presentarse un cambio climático. Para lograr esto último se determinó la dinámica del comportamiento territorial y se definieron las particularidades y diferencias regionales que se presentan en México, con base en la aplicación de los modelos GFDL-R30 y CCC.

### 3. Marco de referencia

En la elaboración de este estudio, se partió de las siguientes premisas:

- a) Existe una escasez de estudios sobre la sensibilidad de los sectores industrial y de energía al cambio climático, debido a la percepción de su relativamente baja sensibilidad y de su alto poder de adaptación, en comparación con otros sectores. Asimismo, hay una ausencia de estudios regionales relativos a los impactos del cambio global en la población y en las actividades económicas de nuestro país.
- b) Los estudios realizados sobre energía e industria centran su atención en la mitigación del cambio climático mediante de la reducción de emisiones de los gases de efecto invernadero.
- c) La mayor parte de la literatura del tema se refiere a los países desarrollados, y considera los impactos potenciales del cambio climático, al tomar como base los patrones de actividad existentes en ellos. Es decir, se hace abstracción de la tendencia de los cambios socioeconómicos mundiales y de la gran

---

\* Instituto de Geografía, UNAM

cantidad de factores que los afectan, entre ellos, la coyuntura internacional por los procesos de globalización económica a nivel mundial.

Un primer factor que incide en la vulnerabilidad de estos sistemas está relacionado con la importancia que tienen ambos dentro de la economía de un país, es decir, su participación en el *producto interno bruto*, puesto que, una vez que se ha determinado su grado de vulnerabilidad, es posible inferir la forma en que dicha vulnerabilidad afectaría a la economía del país en su conjunto.

Otro aspecto importante es que, tanto el sector energético (en particular por la quema de combustibles fósiles en las centrales termoeléctricas) como el industrial, guardan una relación biunívoca con el cambio climático global (CCG), porque ambos sectores son los que más contribuyen a la acumulación de gases invernadero en la atmósfera. Por lo tanto, otro hecho que se puede inferir de ello es que las áreas en donde se concentra la infraestructura de dichos sectores económicos serán también las más afectadas por las acciones de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Por otra parte, la capacidad de adaptación de las empresas al CCG dependerá de la económica para contar con sistemas tecnológicos modernos que se ajusten en forma dinámica a sus necesidades. Ello dependerá, en primera instancia, de la envergadura de las operaciones de las empresas y de su estructura empresarial. Las empresas más grandes serán menos vulnerables en este sentido, por tener mayor capacidad económica para adaptarse a las nuevas condiciones climáticas y adoptar tecnologías para mitigar las emisiones.

A continuación se exponen otros factores que influirán en la mayor o menor vulnerabilidad de estos sectores.

Uno de los efectos del cambio climático sería el *ascenso del nivel del mar*, de ahí que una *ubicación costera* en donde se espere un ascenso más marcado de este nivel, será por tanto desventajosa. Las instalaciones industriales o de generación de energía, localizadas en la costa, serán más vulnerables, al igual que las terminales de abastecimiento y distribución de hidrocarburos y sus derivados, y la infraestructura de conexión (carreteras, vías férreas) con la misma ubicación.

Otro efecto del cambio climático, sería el *ascenso de temperatura*, que se reflejará, en primera instancia, en un aumento de la evaporación y evapotranspiración, y en una reducción de la precipitación y de los escurrimientos, lo que incidirá, en un plazo mediano, en la aceleración de los procesos de desertificación y de *redistribución del recurso hídrico*. En consecuencia, la vulnerabilidad de la industria y los sistemas energéticos estará en función de sus *necesidades de abastecimiento de determinados volúmenes de agua, de la regularidad con que se requieren dichos abastos y del clima donde se ubica la empresa*. Así, a mayor volumen requerido, el abasto será más constante, el clima más seco y la empresa correspondiente será más vulnerable. En este último caso, es decir, en las zonas secas, en las cuales existe *una mayor presión y competencia sobre los recursos hídricos*, la vulnerabilidad de las empresas industriales y generadoras de energía se incrementa; por ejemplo, en las zonas donde coexisten la agricultura de riego, el abastecimiento urbano, la industria y la generación de electricidad.

Las centrales eléctricas tienen una demanda de agua variable. En las hidroeléctricas, el consumo es elevado, pero se trata sólo de agua turbinada, por lo tanto, no tiene una utilización única, sino que se comparte con otros usos. En cambio, las termoeléctricas pudieran requerir de un menor consumo de agua en cuanto a volumen, pero su uso es más directo y es para dos fines; uno como materia prima del proceso de generación de energía en las centrales de vapor, y otro como agua de enfriamiento. En ambos casos, bajo condiciones de aridez, en que el agua utilizada no siga procesos de reciclaje, la vulnerabilidad será alta.

Las modificaciones en la precipitación implican variaciones en el *costo de obtención del agua*; donde el agua comience a escasear habrá que incrementar las inversiones para obtenerla y asegurarse un abasto continuo, de tal manera que su precio sufrirá un incremento, y ello repercutirá en el *costo de obtención de la energía eléctrica, y en el de extracción y refinación de los combustibles fósiles*.

El aumento de temperatura, como efecto directo del CCG, será diferencial geográficamente; esto necesariamente afectará a aquellas empresas que *demandan energía para los procesos industriales de calentamiento o enfriamiento*. En el primer caso, la vulnerabilidad disminuirá porque el calentamiento atmosférico implicará un ahorro en el consumo de energía y de electricidad para el desarrollo de los mismos (por ejemplo, la industria siderúrgica y metalúrgica); en cambio, se incrementará la vulnerabilidad de aquellas empresas que requieren de procesos de enfriamiento o congelación, en zonas en las cuales se incremente la

temperatura, como es el caso de las industrias pesqueras o empacadoras de productos ganaderos y agrícolas perecederos, que requieren cámaras de refrigeración o congelación.

Las variaciones en la distribución del agua y la temperatura tendrán efectos sobre el uso del suelo y la distribución de los seres vivos, sean cultivos, ganado o asociaciones vegetales naturales. Ante esta situación, las industrias más vulnerables serán las que dependen de materias primas derivadas de actividades como la maderera, la del papel, la textil, la alimentaria, la del cuero y las empacadoras de productos del mar, entre otras.

Por lo tanto, existen diferencias entre las diversas ramas de la industria, en cuanto a su sensibilidad hacia el clima. En este sentido, las industrias se pueden clasificar en los siguientes grupos:

**A) Industrias que dependen de recursos naturales sensibles al clima:** agropecuarios, forestales, marinos, el agua y la energía. Por lo tanto, las industrias más afectadas serían: la alimentaria, la de bebidas y tabaco; la textil; la de celulosa y papel; la maderera y la de energéticos renovables. De todas ellas, las más sensibles son las agroindustrias y la industria pesquera.

**B) Industrias cuyo proceso industrial es directamente sensible al clima:** tanto por sus consumos de agua y energía y, por ende, los costos de los mismos, como por la incorporación de procesos de calentamiento o enfriamiento.

Las industrias y los sectores más afectados por la sensibilidad de que su proceso industrial al clima, son:

*1. Sector productor de energía eléctrica.* Ésta es vulnerada por las siguientes razones:

a) En el caso de las centrales termoeléctricas, éstas requieren de elevados volúmenes de agua como insumo para generar el vapor y para enfriamiento. Si se reduce la disponibilidad de agua, disminuyen las operaciones de generación de electricidad; en condiciones extremas, los niveles de agua pueden desplomarse por debajo del mínimo indispensable para el funcionamiento de la central. Asimismo, la eficiencia en la generación de electricidad, a partir de vapor y gas, puede afectarse en forma negativa con un incremento en la temperatura; lo mismo ocurre con la capacidad de transmisión de las líneas eléctricas, que disminuye cuando se incrementan las temperaturas.

b) Por su parte, la generación de hidroelectricidad puede verse afectada por un cambio en la precipitación, o en las condiciones que afectan la evaporación, a partir de un embalse. Muchas plantas hidroeléctricas sirven a múltiples propósitos; el CCG podría afectar a la hidroelectricidad a través de la presión sobre otros sistemas. En ese caso, las operaciones hidroeléctricas deben recalendarizarse, para adaptarse a las necesidades de irrigación y de abasto de agua a los centros de población, más que a los picos de la demanda de energía.

*2. Sector productor de petróleo y gas.* Se ve afectado por el consumo de energía y de agua, y porque las plataformas marinas son vulnerables al ascenso en el nivel del mar por el incremento en el oleaje.

*3. Industria de fundición y refinación de metales.* En este caso destacan la industria del aluminio, la siderúrgica que utiliza hornos eléctricos, y la metalúrgica; la primera requiere de un alto consumo de hidroelectricidad.

*4. Industria alimentaria.* Principalmente por el empleo de sistemas de almacenamiento y conservación que emplean refrigeración o congelación.

*5. Industria textil.* Esta industria consume grandes volúmenes de agua en los procesos de teñido y limpieza.

**C) Industrias cuya localización es vulnerable ante el CCG:** como ocurre con las costas, o en la ribera de ríos susceptibles a inundaciones. En este caso, se trata de industrias cuya ubicación obedece a sus necesidades de abastecimiento de materias primas, su acceso a las rutas de transporte, a los energéticos o a la disponibilidad de agua. Las industrias más afectadas por este factor, en el caso mexicano, serían: la petrolera, la petroquímica y la química; las centrales eléctricas, la siderúrgica, la pesquera y algunos ingenios azucareros.

**D) Industrias cuyos mercados son sensibles al CCG:** El cambio climático influirá en la demanda de energía y, en consecuencia, en la necesidad de invertir en la construcción de nuevas centrales y en otras instalaciones de abastecimiento. Asimismo, la demanda de ropa, bebidas y aire acondicionado, se verá

afectada. Por otra parte, se modificará la demanda de agua, por lo que será necesario invertir en nuevas obras de abastecimiento de agua. Por lo tanto, los sectores más afectados serán: el de producción de energía, las industrias del aire acondicionado, del vestido y de bebidas.

Estas dos últimas, aunque puedan ser vulnerables a un aumento en la demanda de ciertos productos, suelen ser más flexibles, dada su mayor sensibilidad a los cambios en las preferencias de los consumidores.

Los cuadros 1 y 2 sintetizan los aspectos anteriores y señalan cuáles son los sectores y subsectores, *a priori*, más sensibles al clima. Como puede observarse, tanto en el sector energético como en el industrial confluyen una serie de factores que los hacen ser sensibles al clima, casi en igual medida. En el primer caso, tanto la industria petrolera como la generación de electricidad son altamente sensibles, porque se suman en ellas varios factores, entre los que destacan la ubicación geográfica, el que sus procesos industriales y mercados son influidos por las variaciones climáticas y por la influencia que ambos subsectores tienen en la emisión de gases invernadero; de los tipos de centrales eléctricas, las más vulnerables son las que utilizan como insumo el agua, como las centrales termoeléctricas convencionales y las hidroeléctricas.

Por su parte, la industria de transformación aparenta ser menos sensible que la pesada, en virtud de que en la industria pesada tienden a predominar los establecimientos mayores y, los consumos de agua y energía son superiores; en la industria de transformación el número de factores que inciden en la vulnerabilidad es mayor, aunque los consumos de materias primas o insumos sean inferiores y eso puede hacer que, en apariencia, la vulnerabilidad sea menor.

Dentro del subsector de la industria pesada, las más sensibles al clima son la petroquímica, la química, la siderúrgica y la metalúrgica; en tanto que las industrias papelera, alimentaria (frutas, hortalizas, azucarera y pesquera), y textil son las más sensibles en el subsector de la industria de transformación.

**Cuadro 1.** Factores y grados de sensibilidad climática de los sistemas energéticos y la industria

| FACTORES DE VULNERABILIDAD              |   |   |   |   | Procesos industriales sensibles al clima. |   |   |     | Ubicación sensible al clima |    |    |   | Grados de vulnerabilidad |            |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|-----------------------------|----|----|---|--------------------------|------------|--|
|   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5   | 6 | 7 | 8   | 9                           | 10 | 11 | # |                          |            |  |
| <b>SECTORES ECONÓMICOS</b>              |   |   |   |   |   |   |   |     |                             |    |    |   |                          |            |  |
| <b>1. SECTOR ENERGÉTICO</b>             | A | A | M | A | A   | A | A | (-) |                             | A  |    | A | A8 M1 (-)                | MUY ALTA   |  |
| Industria petrolera                     | A | A |   |   | A   | A | A |     |                             | A  |    | A | A7                       | MUY ALTA   |  |
| Electricidad                            | B | A | A | A | A   | A | A |     |                             | M  |    | A | A7 M1 B1                 | MUY ALTA   |  |
| Hidroeléctrica                          | B |   | B | A |   | A | A |     |                             |    |    | A | A4 B2                    | ALTA       |  |
| Termoeléctrica                          | B | A | A | A | A   | A | A | (-) |                             | A  |    | A | A8 B1 (-)                | MUY ALTA   |  |
| Ciclo combinado                         | B | M | M | M | M   | M | M | (-) |                             |    |    | M | M7 B1 (-)                | MEDIA      |  |
| Turbogás                                | B | M | B | B | M   | B | B | (-) |                             |    |    | M | M3 B5 (-)                | BAJA       |  |
| Carboeléctrica                          | B | A | A |   | A   | A | A | (-) |                             |    |    | A | A6 B1 (-)                | MUY ALTA   |  |
| Geotérmica                              | B | M |   | M | B   |   |   | (-) |                             |    |    | M | M3 B2 (-)                | MEDIA BAJA |  |
| Nuclear                                 | B | M |   |   | M   | A | B | (-) |                             | A  |    | M | A2 M3 B2 (-)             | MEDIA      |  |
| Diesel                                  | B | M | B | B | M   | B | B | (-) |                             | M  |    | B | M3 B6 (-)                | BAJA       |  |
| Energías renovables                     | B |   | A | A |   |   |   |     |                             | M  |    | B | A2 M1 B2                 | MEDIA      |  |
| <b>2. SECTOR INDUSTRIAL</b>             | A | A | A | M | A   | A | A |     |                             | M  |    | B | A6 M2 B1                 | ALTA       |  |
| <b>2.1. INDUSTRIA PESADA</b>            | A | A | A |   | A   | A | A | (-) |                             | M  | M  | B | A6 M2 B1 (-)             | ALTA       |  |
| Siderúrgica                             | M | A | A |   | A   | A | A | (-) |                             | M  | M  |   | A5 M3 (-)                | ALTA       |  |
| Metalúrgica                             | M | A | A |   | A   | A | A | (-) |                             | B  |    |   | A5 M1 B1 (-)             | ALTA       |  |
| Minería                                 | B | M | A |   | A   | A | A | (-) |                             | B  |    |   | A4 M1 B2 (-)             | MEDIA ALTA |  |
| Petroquímica                            | A | A | B |   | A   | A | A |     |                             | A  | A  |   | A7 B1                    | MUY ALTA   |  |
| Química                                 | A | A | M |   | A   | A | A |     |                             | A  | M  |   | A6 M2                    | ALTA       |  |
| Maquinaria y equipo (aire acond.)       | A | M | B |   | M   | M | A |     |                             | B  |    | A | A3 M3 B2                 | MEDIA ALTA |  |
| Metalmecánica                           | A | M | B |   | M   | M | A |     |                             | B  |    |   | A2 M3 B2                 | MEDIA      |  |
| Materiales de construcción              | M | A | M |   | A   | M | A |     |                             | B  |    |   | A3 M3 B1                 | MEDIA ALTA |  |
| <b>2.2. INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN</b> | A | B | M | A | M   | A | A |     | M                           | M  | B  | B | A4 M4 B3                 | MEDIA ALTA |  |
| Alimentaria                             | A | B | B | A | B   | M | A |     | A                           | M  | B  | B | A4 M2 B5                 | MEDIA ALTA |  |
| Empacadora de granos                    | A | B | B | M | B   | B | B |     |                             |    |    |   | A1 M1 B5                 | BAJA       |  |

|                                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |  |          |            |
|--------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|--|----------|------------|
| Prod. de alimentos balanceados | A | B | B | M | B | M | B |   |   |  |   |   |  | A1 M2 B4 | MEDIA BAJA |
| Empacadoras de frutas          | A | B | B | A | B | M | A | A |   |  |   | M |  | A4 M2 B3 | MEDIA ALTA |
| Empacadoras de hortalizas      | A | B | B | A | B | M | A | A |   |  |   |   |  | A4 M1 B3 | MEDIA ALTA |
| Azucarera                      | A | A | M | M | A | A | A |   |   |  | M | M |  | A5 M4    | MEDIA ALTA |
| Bebidas                        | A | B | M | M | M | M | A | A | M |  |   | M |  | A3 M6 B1 | MEDIA      |
| Pesquera                       | A | B |   | A | B | M | M | A | A |  |   |   |  | A4 M2 B2 | MEDIA ALTA |
| Textil, cuero y vestido        | M | A | A | M | B | A | A |   | M |  | M | M |  | A4 M5 B1 | MEDIA ALTA |
| Madera                         | B | B | B | A | B | B | B |   |   |  |   |   |  | A1 B6    | BAJA       |
| Papel y celulosa               | M | A | M | A | A | A | A |   |   |  | M |   |  | A5 M3    | ALTA       |

- |   |  |           |
|---|--|-----------|
| 1. PIB  | 8. Proceso de calentamiento                                  | A = Alta  |
| 2. Influencia en el CCG                                 | 9. Proceso de enfriamiento                                   | M = Media |
| 3. Clima  | 10. Ubicación costera  | B = Baja  |
| 4. Dependencia de recursos naturales sensibles al clima | 11. Ubicación junto a ríos                                   |           |
| 5. Consumo de energía (petróleo)                        | 12. Mercado sensible al clima                                |           |
| 6. Consumo de agua                                      | (-). Disminución de la sensibilidad ante un cambio climático |           |
| 7. Competencia por el agua                              |  |           |

Fuentes: Acosta Moreno, R. y Skea, J., 1994, Industry, Energy and Transportation: Impacts and Adaptation, IPCC Working Group 2: Subgroup A.

Kashiwagi, Takao, 1994, Mitigation Options: Industry, IPCC. Working Group 2: Subgroup A.

Sánchez-Salazar, M.T. (1995). "Marco de referencia sobre la vulnerabilidad de los sistemas energéticos y la industria ante el Cambio Climático Global: el caso de México". México ante el Cambio Climático. Memorias Primer Taller Estudio de País: México, Cuernavaca, Mor.

18 - 22 abril 1994. INE/U.S. Country Studies Program Support for Climatic Change Studies. /CIC/ CCA.

**Cuadro 2.** Grados de sensibilidad climática de los sectores energéticos e industrial.

| SECTORES ECONÓMICOS                     | Grados de Sensibilidad |
|---|------------------------|
| <b>1. SECTOR ENERGÉTICO</b>             | <b>MUY ALTA</b>        |
| Industria petrolera                     | MUY ALTA               |
| Electricidad                            | MUY ALTA               |
| Termoeléctrica                          | MUY ALTA               |
| Carboeléctrica                          | MUY ALTA               |
| Hidroeléctrica                          | ALTA                   |
| Ciclo combinado                         | MEDIA                  |
| Energías renovables                     | MEDIA                  |
| Nuclear                                 | MEDIA                  |
| Geotérmica                              | MEDIA BAJA             |
| Turbogás                                | BAJA                   |
| Diesel                                  | BAJA                   |
| <b>2. SECTOR INDUSTRIAL</b>             | <b>ALTA</b>            |
| <b>2.1. INDUSTRIA PESADA</b>            | <b>ALTA</b>            |
| Petroquímica                            | MUY ALTA               |
| Química                                 | ALTA                   |
| Siderúrgica                             | ALTA                   |
| Metalúrgica                             | ALTA                   |
| Minería                                 | MEDIA ALTA             |
| Maquinaria y equipo (aire acond.)       | MEDIA ALTA             |
| Materiales de construcción              | MEDIA ALTA             |
| Metalmecánica                           | MEDIA                  |
| <b>2.2. INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN</b> | <b>MEDIA ALTA</b>      |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| Papel y celulosa               | ALTA       |
| Textil, cuero y vestido        | MEDIA ALTA |
| Alimentaria                    | MEDIA ALTA |
| Azucarera                      | MEDIA ALTA |
| Empacadoras de hortalizas      | MEDIA ALTA |
| Empacadoras de frutas          | MEDIA ALTA |
| Pesquera                       | MEDIA ALTA |
| Bebidas                        | MEDIA      |
| Prod. de alimentos balanceados | MEDIA BAJA |
| Empacadora de granos           | BAJA       |
| Madera                         | BAJA       |

Fuente: Cuadro 1.

#### 4. Diagnóstico de los sectores industrial y energético y su distribución geográfica.

En 1990, los sectores industrial y energético participaban con 30.7% del PIB total. Ambos sectores están altamente concentrados desde el punto de vista espacial, porque solamente el Distrito Federal y el Estado de México reúnen 38% del PIB en dichos rubros, seguidos de Nuevo León, Jalisco y Veracruz, cuyo PIB en el sector secundario va de 6% a 8%. El resto de las entidades no sobrepasa 4% del PIB secundario nacional (INEGI, 1993).

Del sector energético, el subsector petrolero también está muy concentrado. Entre Campeche y Tabasco concentran 77% del PIB del sector, Veracruz y Chiapas juntos representan 15% del mismo, y los otros tres estados del noreste fronterizo se reparten el porcentaje restante del PIB petrolero. Por su parte, la producción de carbón y coque se deriva casi totalmente de Coahuila. En contraste, la distribución geográfica del subsector eléctrico abarca todo el país (INEGI, 1993).

Por su parte, el PIB manufacturero también se concentra en unas cuantas entidades, en virtud de que la industria, por lo general, tiende a ubicarse donde existan mayores ventajas por el factor de aglomeración en las ciudades grandes. Así, entre el D. F. y el Estado de México concentran 41% del PIB manufacturero, le siguen Nuevo León, Jalisco y Tlaxcala, con porcentajes entre 5% y 10%; y el resto del país concentra menos de 3% del mismo (INEGI, 1993).

De los subsectores de la industria manufacturera, los de la industria pesada o de equipamiento son los más concentrados geográficamente, en virtud de que son los que más buscan las ventajas de las economías de escala.

La minería está ampliamente distribuida por diversos puntos del país, principalmente en el centro y nortenoeste. Las grandes empresas mineras se caracterizan por su grado de modernización tecnológica, que implica el empleo de cada vez menor número de trabajadores mineros y, por ende, un consumo cada vez mayor de energía. Así, en algunos sitios mineros del noroeste, norte y centro-norte, donde se desarrollan actividades de gran envergadura, los consumos energéticos y de agua suelen ser elevados y, por tratarse además de zonas secas y, en ocasiones, densamente habitadas, tienden a ser más sensibles al clima (Coll-Hurtado y Sánchez-Salazar, 1991).

La industria siderometalúrgica y metalmeccánica -se trata siempre de grandes empresas-, se concentra en unos cuantos puntos del país: el acero se produce en Monclova-Frontera, Lázaro Cárdenas, Monterrey, Xoxtla, Xicoténcatl y Guadalajara. En San Luis Potosí hay dos importantes fundiciones de cobre y zinc. De estos sitios, cuatro de ellos se ubican en zonas áridas y semiáridas, lo que hace que ejerzan una presión importante sobre los recursos hídricos de su zona de influencia, además de que corresponden a zonas densa o medianamente pobladas. Por su parte, este tipo de industrias también tiene fuertes consumos de energía (Sánchez-Salazar, 1991). Ambos factores hacen que estos cuatro sitios sean altamente sensibles al clima. Hay otros lugares ubicados en zonas templadas, pero con altas concentraciones demográficas, lo que les hace competir con las ciudades por el agua y la energía. Finalmente, Lázaro Cárdenas, Michoacán suma a estas características su ubicación costera.

La industria química y petroquímica, también concentrada en los tres grandes centros urbanos del país, muestra una distribución geográfica vinculada con la ubicación de los centros de consumo urbanos y rurales; en este último caso están las industrias productoras de fertilizantes. En este sentido sobresale la zona del Bajío y los distritos de riego del sur de Sonora, Camargo, Viesca, Linares, Zacapu e Ixhuatlán del Sureste. La industria química es importante consumidora de energéticos y agua, y los sitios más vulnerables son los de las zonas áridas y los costeros, por el riesgo que tienen ante el ascenso del nivel del mar, como el caso de Matamoros, Altamira y Veracruz. El D.F. y México son los que concentran 49% del PIB químico y petroquímico, seguidos por Veracruz, con sus importantes complejos del sureste del estado, Nuevo León, Jalisco, Guanajuato y Tamaulipas (INEGI, 1993).

La industria del vidrio también muestra una elevada concentración en los tres grandes centros industriales del país, además de Querétaro, Toluca, Orizaba, Mexicali y Acayucan. Esta industria demanda elevados volúmenes de energía, aunque inferiores a la petroquímica y a las metálicas, y su vulnerabilidad estriba en su ubicación en los sitios áridos y secos del norte. La producción de otros materiales de construcción está más ampliamente distribuida en el país aunque los grandes centros urbanos y sus áreas de influencia tienden a ser nuevamente los lugares preferidos para el asentamiento de estas empresas, de las cuales destaca la industria cementera como demandadora importante de energía, concentrada principalmente en el estado de Hidalgo.

Por su parte, las industrias de transformación repiten el patrón de las anteriores, aunque en los casos de la industria alimentaria y papelera, su patrón de distribución suele ser más disperso, en contraste con las industrias textil y maderera, que se concentran en unas cuantas entidades.

Por razones del proceso industrial, la industria azucarera se ubica en zonas tropicales y subtropicales, junto a su zona cañera, de influencia directa. Los ingenios azucareros consumen elevados volúmenes de combustibles y de agua, por los procesos químicos que se verifican para extraer las impurezas a la caña. Ésta es la razón de que los ingenios, en algunos casos, se ubiquen junto a ríos importantes, como el Papaloapan y sus afluentes, en terrenos con alto riesgo de inundaciones. La capacidad de molienda de los ingenios tiene una relación directa con el volumen de energía y de agua necesarios para su funcionamiento.

Las agroindustrias derivadas de la ganadería, tales como las plantas pasteurizadoras de leche, las empacadoras de carne y los rastros, se distribuyen ampliamente por el territorio nacional, alrededor de las áreas urbanas más importantes. Su sensibilidad, radica en su dependencia de las zonas de distribución de las materias primas.

Las agroindustrias procesadoras de alimentos balanceados están ampliamente distribuidas en las localidades que funcionan como centros de áreas ganaderas y sorgueras importantes: el sureste y centro de Veracruz, el Bajío, el Estado de México, el norte de Sinaloa y el sur de Sonora, la Comarca Lagunera, Matamoros, Delicias y Monterrey. En la gran mayoría de los casos se trata de zonas incluidas en el trópico húmedo y el trópico seco. En este último caso estarían las áreas más susceptibles a los cambios climáticos.

La industria pesquera, por su ubicación casi exclusiva a lo largo de la costa, es susceptible al riesgo que implica el ascenso del nivel del mar, particularmente en la costa del Golfo de México. A esta característica se suma su dependencia de los sistemas de refrigeración y congelación para la conservación de sus productos, y la presencia de la materia prima, los peces, con sus fluctuaciones estacionales y espaciales.

Finalmente, las industrias textil y papelera también se concentran geográficamente en las principales ciudades y en los centros de acopio de la producción de algodón, en el primer caso, y de bosques, para la producción de papel, en el segundo. Se trata de industrias que necesitan de grandes cantidades de agua en sus procesos químicos, además de requerir, en el segundo caso, la presencia próxima de la materia prima.

## **5. Escenario base**

### **5.1. Los sistemas energéticos**

De la evaluación realizada *a priori*, se determinó que la industria petrolera se clasifica, por sus características, en el nivel de sensibilidad climática muy alta. Sin embargo, dadas las características actuales del clima en el cual se asientan las instalaciones petroleras y, de acuerdo con la importancia regional de las mismas, se pueden establecer algunas diferencias geográficas.

*Zonas de sensibilidad muy alta.* Se ubican en la Región Marina y la Región Sur, según la división de Pemex, y concentran 96.4% de la producción de petróleo y 95.8% de la de gas natural, a nivel nacional (Pemex, 1995). Se concentran en el sureste de Veracruz, Tabasco, norte de Chiapas, el Distrito de Ocosingo y la Sonda de Campeche. Asimismo, entrarían en este nivel las localidades de Tula, Minatitlán y Salina Cruz, por tratarse de las refinerías de mayor capacidad de producción.

*Zonas de sensibilidad alta:* Salamanca, Ciudad Madero y Cadereyta, que corresponden a climas secos y semicálidos, donde se ubican las refinerías de mediana capacidad.

*Zonas de sensibilidad media:* Poza Rica, que corresponde a clima semicálido, donde se ubica una refinería de baja capacidad de producción.

*Zonas de sensibilidad media baja:* Forma parte de esta zona el distrito productor de gas de Reynosa, el tercero más importante del país, con una producción de 12.9% del total.

*Zonas de sensibilidad baja:* A este nivel pertenecen los distritos petroleros de Altamira, Poza Rica, Veracruz y Agua Dulce, actualmente con un ritmo de producción muy bajo (6% de la producción total).

En cuanto a las centrales eléctricas, las hidroeléctricas tienen una sensibilidad alta al cambio climático por manejar un insumo sensible a dicho cambio, de por sí vulnerable en las zonas áridas, en las que los embalses tienen usos múltiples. En las zonas templadas, la vulnerabilidad no reside en la falta del recurso hídrico, sino en el alto costo del agua, debido a que ésta se utiliza para las grandes zonas urbanas. En el resto del país, la vulnerabilidad de las plantas hidroeléctricas sería baja o media, en virtud de que se trata de centrales de gran capacidad, con bajos costos del agua, y con grandes ventajas climatológicas, además de tener poca competencia en cuanto a otros usos del agua.

Por su parte, las centrales termoeléctricas, que trabajan con vapor, tienen una sensibilidad climática muy alta, en virtud de que se ubican preferentemente en las zonas del país con recursos hídricos más limitados (climas áridos cálidos y semicálidos, secos cálidos y semicálidos, secos templados y cálidos subhúmedos), además de que existe una mayor competencia por esos recursos hídricos, dado que se localizan en las áreas urbano-industriales o colindantes con zonas agrícolas de riego.

## **5.2. El sector industrial**

La minería se clasifica como un sector de sensibilidad climática media-alta, tanto por sus consumos energéticos e hídricos, como por desarrollarse habitualmente en zonas de climas áridos y semiáridos. Sin embargo, ese nivel de sensibilidad se ve agudizado, cuando se trata de unidades con capacidades de producción muy altas o donde los consumos energéticos se hacen más intensivos, por existir fundiciones metálicas y refinerías de metales, como ocurre en Cananea y Nacozari, con las fundiciones de cobre; San Luis Potosí, con la fundición de cobre y la refinería de zinc; en Tamós, Veracruz y Teziutlán, Puebla, con las plantas de ferroaleaciones de manganeso; y Manzanillo, Colima, con la peletizadora de hierro. En todos estos lugares, *la sensibilidad climática es muy alta*. En el resto de las zonas mineras del país, *la sensibilidad climática de la minería será media-alta*, y sólo en las salinas de Guerrero Negro y la productora de yeso de Isla del Carmen, en Baja California Sur, *la sensibilidad climática será media*.

Por su parte, la industria pesada, según el subsector de que se trate, tiene una sensibilidad climática que varía desde muy alta para la petroquímica, alta para la metálica básica y la química, media-alta para la industria del cemento y el vidrio y media para la metalmecánica. Pero, la situación se complica aún más, si se considera que estas industrias no están aisladas en el espacio, sino que tienden a formar aglomeraciones geográficas en zonas urbano-industriales, de manera que los niveles de sensibilidad se multiplican.

*Las zonas industriales de vulnerabilidad más alta* son las de México, Monterrey y Guadalajara, en primer lugar, junto con Coatzacoalcos-Cosoleacaque-Minatitlán, Veracruz; Ciudad Madero, Tamaulipas; Salamanca, Guanajuato; Tuxtepec, Oaxaca; Poza Rica, Veracruz, Salina Cruz, Oaxaca, el norte de Chiapas, y Puebla, Puebla. En este caso se trata de las mayores concentraciones industriales del país, o donde se ubica la industria petroquímica de Pemex.

*Las zonas industriales de vulnerabilidad alta* corresponden a aquéllas en las cuales está la industria metálica básica y química: Nacozari, Cananea y Ciudad Obregón, Sonora; Chihuahua y Camargo, Chihuahua; Monclova y Saltillo, Coahuila; Nuevo Laredo, Tamaulipas; Torreón-Gómez Palacio y Durango; corredor Pánuco-Tampico; Mérida, Yucatán; Lázaro Cárdenas, Michoacán; el corredor del Bajío; Cuautla,

Morelos; Toluca, México; el corredor Morelia-Zamora, Michoacán y Veracruz, Veracruz.

*Las áreas industriales de vulnerabilidad media-alta* son aquellas donde se producen vidrio, cemento y otros materiales de construcción y están más ampliamente distribuidas: Mexicali, Tijuana, Ensenada y La Paz en la península de Baja California; Culiacán y Mazatlán, Sinaloa; Hermosillo, Sonora; Ciudad Juárez, Chihuahua; San Fernando, Tamaulipas; Ciudad Valles, San Luis Potosí; Manzanillo, Colima; Ciudad Guzmán, Jalisco; Cancún, Quintana Roo; Córdoba y Orizaba, Veracruz; Cuernavaca, Morelos; los municipios metropolitanos de Ecatepec, Tlalnepantla y Cuautitlán, México, entre otros; las localidades cementeras del suroeste de Hidalgo y norte del Estado de México.

*Las áreas de vulnerabilidad media* serían aquellas que tienen instalaciones de la industria metalmeccánica, como Cuauhtémoc, Chihuahua; Ciudad Mante, Tamaulipas; Aguascalientes; Villahermosa, Tabasco.

En cuanto a los subsectores de la industria ligera o de transformación, la vulnerabilidad de la industria alimentaria en el escenario base tiende a ser, en lo general, media-alta, como es el caso de las industrias azucarera, lechera y pesquera; algunas otras tienen vulnerabilidad media, como la del tabaco, o baja, como las empacadoras de carne o industrias de alimentos balanceados.

*Las áreas que tienen una vulnerabilidad alta* son: Ensenada, Hermosillo, Chihuahua, Torreón, Monterrey, Los Mochis, Culiacán, Pachuca, la zona metropolitana de la Ciudad de México, Córdoba, Veracruz, Ciudad del Carmen, Campeche y Progreso. *Las áreas con vulnerabilidad media-alta* constituyen la mayor parte de las localidades del país. *Las áreas de vulnerabilidad media* son Tepic, Oaxaca, Zamora, Tapachula, San Andrés Tuxtla y Teziutlán. *Las áreas de vulnerabilidad baja* son Delicias, Camargo y Cuauhtémoc, Chihuahua; Mexicali, Baja California; Piedras Negras, Coahuila; Nuevo Laredo, Tamaulipas; Tulancingo, Hidalgo; Huixtla, Chiapas; Coatzacoalcos y Acayuca, Veracruz.

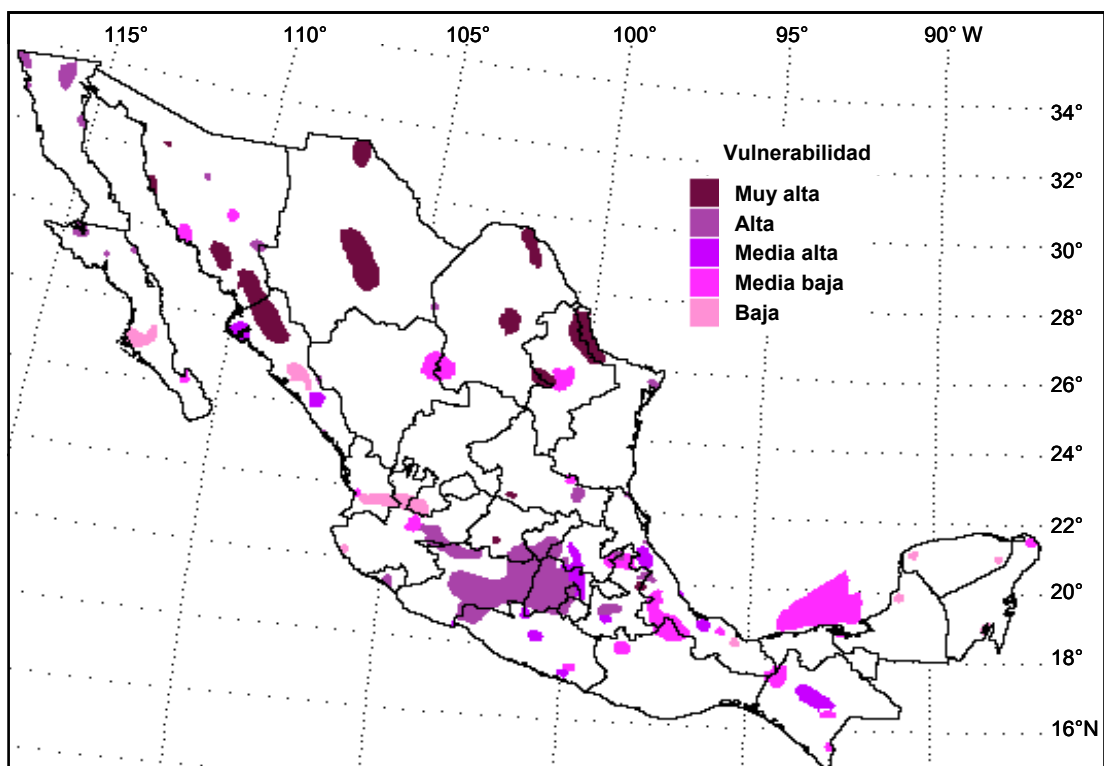
Las industrias textil y papelera, por sus elevados consumos de agua y de energía, se consideran con sensibilidad climática de media-alta a alta. Ninguna de las dos tienen una amplia dispersión geográfica, sino, por el contrario, tienden a concentrarse en pocos centros urbanos del país.

Las localidades con *alta sensibilidad climática* son: Mexicali, Cuauhtémoc, Chihuahua, Torreón, Monterrey, Saltillo, Durango, Culiacán, Guadalajara, San Luis Potosí, Atenquique, Los Reyes Uruapan, Querétaro, Tuxtepec, Atlacomulco, los municipios conurbados del Estado de México y Tehuacán, y las localidades con *sensibilidad climática media-alta* son: Parras, Coahuila; el corredor Guadalajara-Ocotlán; Zamora, León, Aguascalientes, Tulancingo, Celaya, San Juan del Río, Cuernavaca, Toluca, la zona metropolitana de México, Tlaxcala y Puebla.

## **6. Aplicación del modelo CCC**

### **6.1. Los sectores energéticos**

De acuerdo con el modelo CCC (fig. 1), por lo que se refiere a hidrocarburos, en las zonas cuya actividad tendría la sensibilidad climática más alta no se producirían cambios climáticos, es decir, tanto en las zonas productoras de petróleo y gas de Tabasco, Chiapas y la Sonda de Campeche, y las localidades donde se ubica la refinería de Minatitlán y Salina Cruz. Sólo podría haber cierto cambio en el nivel del mar, que afectaría a las plataformas petroleras de la Sonda de Campeche, dando lugar a una vulnerabilidad media por este motivo exclusivamente. En el caso de la refinería de Tula, habría una *vulnerabilidad climática muy alta* por la proximidad de otras zonas industriales, zonas de agricultura de riego, y alta densidad demográfica, debido al incremento de 2.0 a 2.5 grados centígrados en la temperatura media anual.



**Figura 1.** Vulnerabilidad en el sector de energía al cambio climático. Modelo CCC.

De las localidades con sensibilidad alta, sólo la refinería de Salamanca corresponde a una zona con cambio climático, por un incremento de temperatura media 2.0 a 2.5 grados centígrados y un decremento en la precipitación de 10%, lo que podría agudizar la problemática de obtención de agua para el proceso de refinación, al sumarse este problema a la competencia existente por el agua en la región, a causa de la agricultura de riego de El Bajío, el uso urbano y el uso por otras industrias de vulnerabilidad alta, como las químicas y petroquímicas secundarias. Por lo tanto, Salamanca quedaría como *zona de vulnerabilidad muy alta*.

Poza Rica, de sensibilidad media, incrementó su *sensibilidad a media-alta* al subir su temperatura media de 1.5 a 2.0 grados centígrados y descender la precipitación 10 por ciento.

Las zonas de *sensibilidad media-baja y baja*, que corresponden a los campos productores de gas del distrito de Reynosa y los campos productores de petróleo de Altamira, Poza Rica y Veracruz, están casi totalmente fuera de la zona de cambio climático, según este modelo.

De las centrales hidroeléctricas, las que mantienen una *sensibilidad muy alta* al cambio climático, de acuerdo con este modelo, son las que se ubican en la parte norte y noroeste del país, particularmente las del norte de Sinaloa, Sonora, Chihuahua, Coahuila y Tamaulipas, por ubicarse en zonas donde se combinan incrementos de temperatura superiores a 3°C y la disminución de la precipitación es del 10 al 20%, o bien ésta no varía. En este nivel quedarían incluidas también las centrales termoeléctricas comprendidas en la misma zona (fig. 1).

La *vulnerabilidad alta* se presenta en todas las centrales hidroeléctricas y termoeléctricas ubicadas en el centro, centro-occidente y centro-orientado del país, en las cuales, si bien la temperatura media anual aumenta sólo de 2 a 2.5°C, se produce un descenso en la precipitación anual de 10%, además de tratarse de la zona más problemática del país en cuanto a la demanda de los recursos hídricos. Asimismo, este nivel de vulnerabilidad se presenta también en las localidades del noroeste del país.

La *vulnerabilidad media-alta* en aquellas zonas del país con centrales hidroeléctricas en las que los incrementos de temperatura media anual son de 1.5 a 2.5°C, y éstos se combinan con disminuciones en la

precipitación de 10%, tal como sucede en Chiapas, Guerrero, Puebla, Hidalgo y el centro de Sinaloa. Asimismo se muestra en algunas áreas del centro-norte y centro del país donde existen centrales termoeléctricas, con incrementos de temperatura medias de 2 a 3°C pero con reducciones del 10% en su precipitación, que coinciden con importantes centros urbano-industriales.

La *vulnerabilidad media* ocurre en las centrales hidroeléctricas y termoeléctricas que se ubican en aquellos lugares con los incrementos más bajos en la temperatura media anual, y un aumento en las precipitaciones de 10 a 30%, como las costas de Guerrero, Quintana Roo, Ciudad del Carmen y las centrales termoeléctricas que no son de vapor, en la zona metropolitana de Monterrey.

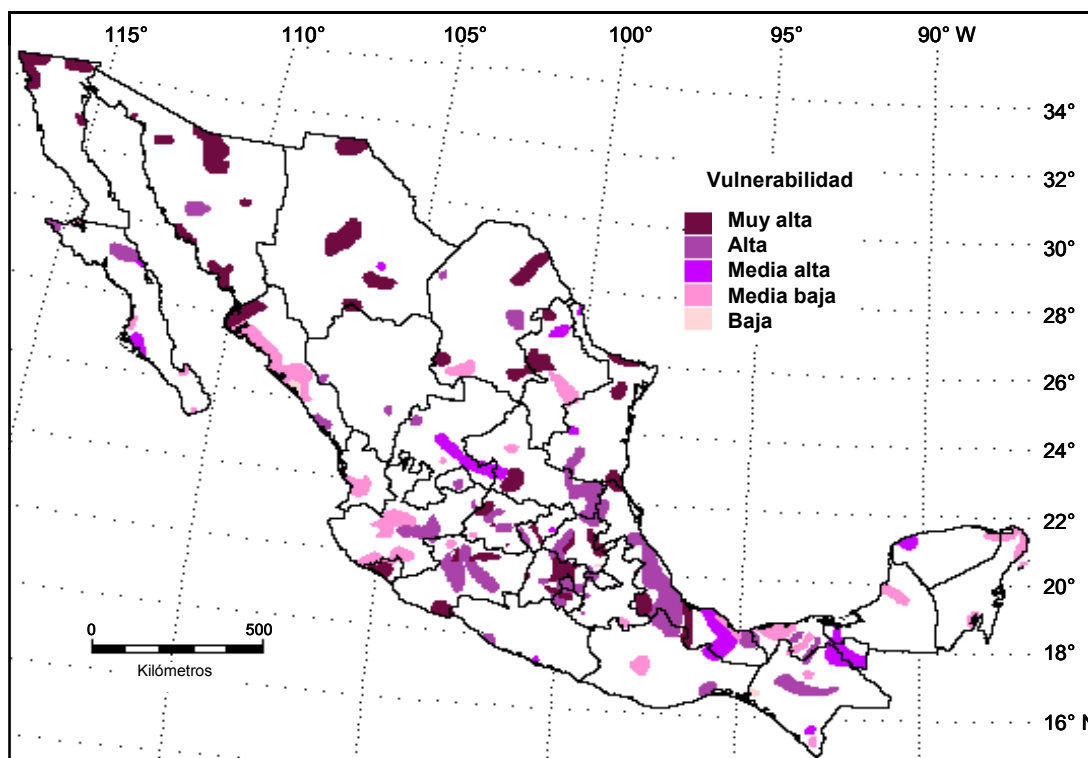
Por último la *vulnerabilidad baja* corresponde a las zonas en las que coinciden incrementos muy ligeros en la temperatura y los mayores aumentos en la precipitación, como en el centro-occidente y península de Yucatán, principalmente.

## **6.2. El sector industrial**

En el caso del subsector minero el nivel de *vulnerabilidad muy alto*, con base en la aplicación de este modelo, corresponde a las zonas mineras en donde se distribuyen los incrementos de temperatura media anual más altos, por encima de 3°C, y los decrementos de precipitación de 10% o sin variación, como las regiones de Cananea-Nacozari y Sahuaripa, Sonora, todas las áreas mineras de Chihuahua, noreste de Coahuila, la ciudad de Monterrey, Nuevo León; Manzanillo y las Truchas, Michoacán y Pánuco, Veracruz (fig. 2).

Las zonas con *vulnerabilidad alta y media alta* corresponden a aquellas donde coinciden incrementos ligeros de temperatura, de 2 a 2.5°C, con decrementos de 10% en la precipitación, o bien, incrementos medianos de temperatura, de 3 a 3.5°C, con variaciones nulas en la precipitación, como en Hércules, Coahuila; Tayoltita y Durango, Durango; Sombrerete, Zacatecas; los distritos mineros de Guanajuato, Querétaro e Hidalgo, y la zona siderúrgica de Xoxtla, Puebla; los distritos salineros y yesíferos de Baja California Sur; Real de Ángeles, Zacatecas y San Luis Potosí.

Las áreas con *vulnerabilidad media* coinciden con las que experimentan un incremento ligero en la temperatura y una nula variación de la precipitación, como los distritos de Zacatecas, Charcas, Pachuca, Teziutlán y las áreas productoras de azufre del sureste de Veracruz.



**Figura 2.** Vulnerabilidad en el sector industrial al cambio climático. Modelo CCC.

Finalmente, las áreas de *baja vulnerabilidad* corresponden a las que tienen bajos incrementos de temperatura y aumentos de 10% en su precipitación, como los distritos ferríferos del sur de Jalisco (fig. 2).

En el caso de la industria pesada, las áreas de *vulnerabilidad más alta* son las que presentan los incrementos de temperatura mayores, de 3.5 a 4.5°C y decrementos de 10% o mayores en la precipitación, o bien incrementos de 10% en la misma. Asimismo, incluye a las zonas con aumentos bajos en su temperatura media y decrementos de 10 a 20% en la precipitación, y que además coinciden con las zonas de mayor intensidad industrial del país. Así, quedarían incluidas en este nivel de vulnerabilidad las zonas industriales de Mexicali, Ensenada y Mexicali, Baja California; Nacozari, Cananea y Ciudad Obregón, en Sonora; Camargo y Cuauhtémoc, Chihuahua; Durango; Mazatlán, Sinaloa; San Fernando y Matamoros, Tamaulipas; Manzanillo, Colima; Lázaro Cárdenas, Michoacán; Salina Cruz y Tuxtepec, Oaxaca; Veracruz, Orizaba y el norte de Veracruz; el corredor de El Bajío, del norte de Michoacán, Puebla, Cuernavaca, Toluca, sur de Hidalgo y el Estado de México (fig. 2).

Las *áreas de vulnerabilidad alta* coinciden con zonas de mediano aumento de temperatura media y nulo incremento en la precipitación, o bien ligeros incrementos de temperatura y descenso de 10% en la precipitación. Este nivel de vulnerabilidad se ubica en Hermosillo, Sonora; Chihuahua, Chihuahua; Saltillo, Torreón y Monclova, Coahuila; Monterrey, Nuevo León; Nuevo Laredo y Ciudad Mante, Tamaulipas; Coatzacoalcos, Veracruz; Villahermosa, Tabasco; así como numerosas localidades que se intercalan con las de muy alta vulnerabilidad en El Bajío, y zonas industriales del sur de Hidalgo, valle de Puebla-Tlaxcala; Toluca y la zona metropolitana de México.

Las *áreas de vulnerabilidad media-alta* incluyen aquellas que tienen incrementos de temperatura ligeros o medianos y decrementos del 10% en la precipitación. Se ubican en el norte de Nuevo León; Acayucan, Veracruz; Mérida, Yucatán; y la zona metropolitana de Guadalajara.

Las *zonas de vulnerabilidad media* se concretan en los centros de población con incipiente industria básica: Cancún, Quintana Roo; La Paz, Baja California Sur; Ciudad Guzmán, Jalisco y Viesca, Coahuila (fig. 2).

Por su parte, del subsector de la industria ligera o de transformación, la alimentaria tiene todas las gamas de vulnerabilidad en el país, de acuerdo con las características del medio geográfico que arrojan los resultados obtenidos con la aplicación de este modelo.

En el caso de las industrias textil y papelera, la *vulnerabilidad muy alta* se manifiesta en localidades donde los incrementos de temperatura van de 3 a 4.5°C y la variación de la precipitación oscila entre -10% y +10%. Estas condiciones se presentan en Mexicali, Cuauhtémoc, Chihuahua, Monterrey, Los Reyes-Uruapan, corredor Celaya-Querétaro-Atzacmulco, Córdoba-Orizaba, Tuxtepec y los municipios conurbados de la zona metropolitana de la Ciudad de México (fig. 2). La *vulnerabilidad alta* existe en zonas con incrementos medios de temperatura, de 2.5 a 3°C y variación nula en la precipitación, como en Durango, Aguascalientes, el corredor Guadalajara-Ocotlán, Zamora, y en el centro del país, desde León a Puebla. La *vulnerabilidad media-alta* se circunscribe a las zonas con aumentos medios de temperatura y ligeros incrementos en la precipitación, como San Luis Potosí y norte de Querétaro.

La *vulnerabilidad media* se presenta en Colima, Guadalajara, Toluca y San Juan del Río, bajo condiciones de ligeros incrementos de temperatura, y aumentos de precipitación superiores al 10% (fig. 2).

## 7. Aplicación del Modelo GFDL-R30

### 7.1. Los sistemas energéticos

En el caso de los hidrocarburos, *las zonas de muy alta sensibilidad climática*, salvo Tula, quedan sin cambio climático alguno con este modelo (fig. 3). Las plataformas marinas, por el incremento en el nivel del mar, tendrían una *vulnerabilidad media*.

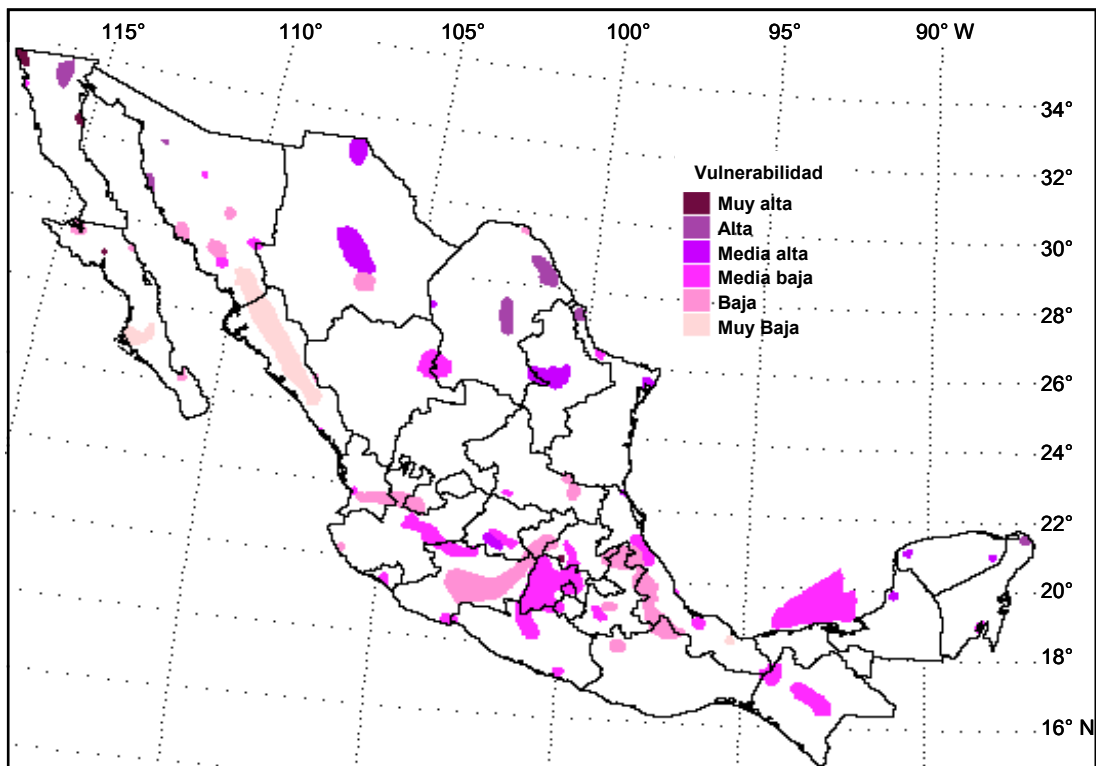


Figura 3. Vulnerabilidad en el sector de energía al cambio climático. Modelo GFDL-R30.

Tula tendría un incremento de 2.5 a 3.0 grados en su temperatura media, pero también tendría un incremento de 30% en la precipitación anual. Ello implicaría que la zona incrementaría su vulnerabilidad por

el efecto invernadero, pero la disminuiría, en virtud de que se aumentaría el volumen de agua disponible y ello haría descender ligeramente el costo de la misma, ante tanta competencia con otras actividades económicas y con la población. Por tanto, Tula bajaría al nivel de *vulnerabilidad alta*.

De las zonas de sensibilidad alta, sólo en Salamanca habría cambio climático, por un incremento de temperatura y precipitación similar a Tula. Nuevamente en este caso, *la sensibilidad climática pasaría a media-alta*, con el incremento en la precipitación y el ahorro energético resultante con el incremento en la temperatura.

Poza Rica disminuiría su *sensibilidad climática a media-baja* y las zonas productoras de gas de baja sensibilidad no experimentarían ningún cambio de clima, ni las zonas productoras de hidrocarburos de sensibilidad baja estarían afectadas.

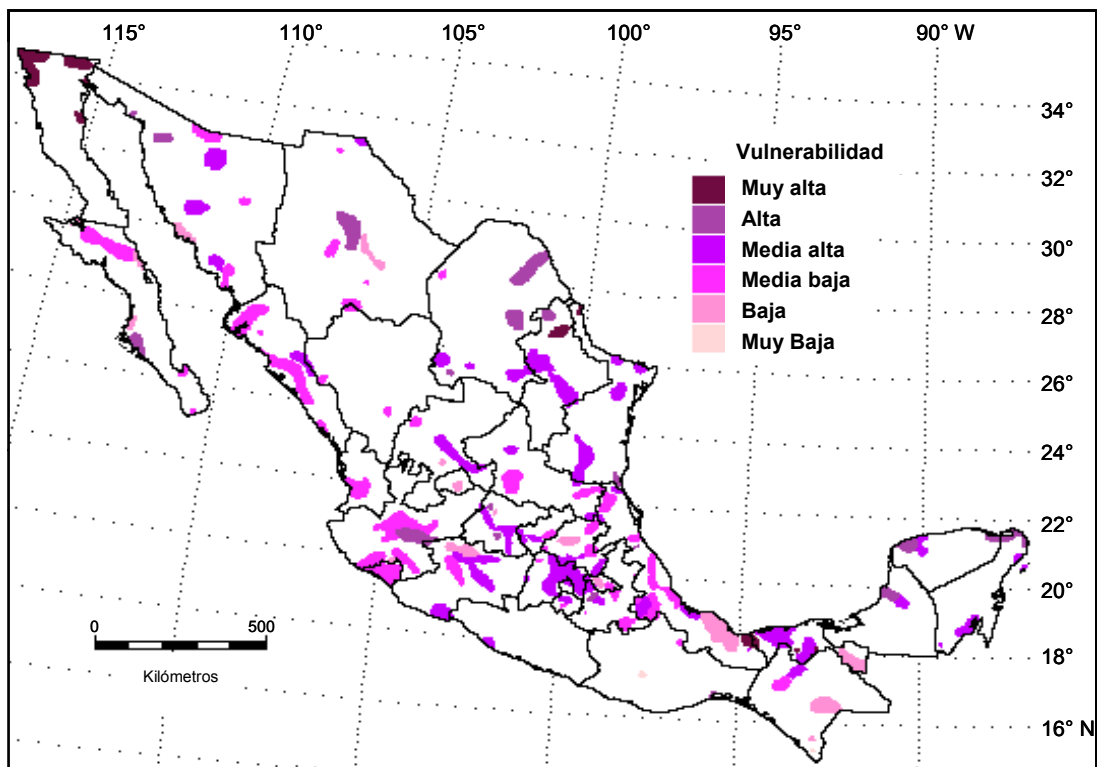
En lo referente a producción de electricidad, en virtud de que casi todas las plantas hidroeléctricas se ubican en zonas en que, aun cuando hay incrementos de temperatura éstos coinciden con aumentos en la precipitación superiores al 30%; de acuerdo con este modelo *la vulnerabilidad climática será muy baja*, para las centrales localizadas en Oaxaca y Sinaloa; *baja*, para la mayor parte de las centrales hidroeléctricas del país ubicadas en Sonora, el oriente y parte del occidente; y *media*, en aquellas zonas del centro y centro-occidente en las cuales la presión por el agua es mayor. Asimismo, habrá una sensibilidad media en las centrales hidroeléctricas de Chiapas, por el notable incremento en la precipitación anual (fig. 3).

En contraste, en el caso de las centrales termoeléctricas sólo las que abastecen a Tijuana y Ensenada tienen *vulnerabilidad muy alta* por estar ubicados en las zonas de mayor incremento de temperatura, más de 3.5°C y de no variación o decremento en la precipitación; *la vulnerabilidad es alta y media-alta*, en el resto del noroeste, norte y noreste del país, donde los incrementos altos de temperatura coinciden con ligeros o medianos aumentos en la precipitación anual; *la vulnerabilidad es media*, en las áreas con incrementos de temperatura entre 2.5 y 3°C y aumentos de 30 y 40% en la precipitación, como se observa en la zona metropolitana de Torreón, El Bajío, los estados de México e Hidalgo, Veracruz y Yucatán. Las *vulnerabilidades baja y muy baja* se localizan en las zonas de Baja California, Sonora y el centro-occidente por ser zonas donde es mínima la competencia por el agua con otras actividades (fig. 3).

En síntesis, el sector energético se verá más afectado si el cambio climático evoluciona como lo señala el modelo CCC, en comparación con el GFDL-R30, en virtud de que el primero arroja valores de precipitación más bajos que los actuales en la mayor parte del país.

## **7.2. El sector industrial**

De acuerdo con este modelo, como en el caso del sector energético, las zonas mineras reducen su vulnerabilidad, en virtud de que en la mayor parte del país hay un incremento en las precipitaciones, pese a los aumentos de temperatura. Sólo experimentarán *vulnerabilidad alta* las zonas carboníferas del norte y noreste de Coahuila, y el distrito de Lampazos, Nuevo León, donde las temperaturas medias rebasarían los 3.5°C (fig.4).



**Figura 4.** Vulnerabilidad en el sector industrial al cambio climático. Modelo GFDL-R30.

La *vulnerabilidad media-alta* corresponde a los distritos mineros de Cananea, Nacozari, Zacatecas, Real de Ágeles y Charcas, y la zona industrial de Monterrey, donde las temperaturas se incrementarán de 3 a 3.5°C. La *vulnerabilidad media* se presenta en los distritos con incrementos de 3 a 4°C de temperatura y aumento de 30 a 40% en la precipitación, como en la mayor parte de los distritos del centro-norte y noroeste del país. Por último, la *vulnerabilidad baja* corresponde a las zonas de incrementos bajos y medios de temperatura, y medios en precipitación, como en la mayor parte de los distritos mineros del centro, oriente, y centro-occidente y los de Baja California Sur (fig. 4).

En el caso de la industria pesada la vulnerabilidad también se ve moderada por los resultados que arroja la aplicación de este modelo. Las *zonas de muy alta vulnerabilidad* se circunscriben a las áreas industriales de Camargo, Chihuahua; Monclova, Coahuila; norte de Nuevo León; Coatzacoalcos, Veracruz; y Salina Cruz, Oaxaca, es decir, las zonas de industria petroquímica y siderúrgica del país.

Las zonas de *vulnerabilidad alta y media-alta* son aquellas en las cuales coinciden aumentos en las temperaturas medias anuales de 3.5 a 4°C e incrementos de precipitación anual de 10 a 40%, principalmente, aunque también se encuentran en zonas con incrementos de temperatura más bajos (2.5 a 3°C); estas áreas son: Ciudad Obregón, Guaymas, Nacozari y Cananea, Sonora; Chihuahua y Ciudad Juárez, Chihuahua; Torreón, Viesca y Saltillo, Coahuila; San Fernando, Tamaulipas; San Luis Potosí; Veracruz, Poza Rica y Pánuco, Veracruz; Mérida, Yucatán; Cancún, Quintana Roo; Tuxtepec, Oaxaca; Lázaro Cárdenas, Michoacán, y la amplia zona que abarca el corredor Bajío en Michoacán, Guanajuato y Querétaro, la zona metropolitana de Puebla y la de México; Toluca, el noroeste del Estado de México y el sureste de Hidalgo.

Las *áreas de vulnerabilidad media* son las que presentan incrementos medios de temperatura de 2.5 a 3.5°C e incrementos altos en la precipitación, de 30 a 40% y corresponden al sur de Baja California Sur; Culiacán y Mazatlán, Sinaloa; Cuauhtémoc, Chihuahua; Ciudad Mante, Tamaulipas; Manzanillo, Colima; Ciudad Guzmán, Jalisco; las zonas cementeras de Hidalgo y el Estado de México; Villahermosa, Tabasco, y las áreas vecinas a las zonas metropolitanas de Puebla y México.

Las *áreas de vulnerabilidad baja* son las que poseen los incrementos más ligeros en la temperatura y los aumentos más altos en la precipitación, además de tratarse de localidades con industria poco concentrada, como la cuenca del lago de Chapala, Aguascalientes, partes del Bajío y Córdoba, Veracruz (fig. 4).

Por lo que se refiere a las ramas del subsector de la industria ligera o de transformación, como en los casos analizados, la vulnerabilidad de la industria alimentaria tiende a decrecer en casi todo el país.

La *vulnerabilidad más alta* se circunscribe a las ciudades de Ensenada y Tijuana en el noroeste. La vulnerabilidad alta y media-alta se observa en Caborca, Ciudad Obregón y Hermosillo, Sonora; Monterrey, Nuevo León; Cancún y el resto de las localidades de Quintana Roo y Campeche; la costa de Yucatán; Los Mochis y Culiacán, Sinaloa; Torreón y Saltillo, Coahuila; las localidades urbanas de Zacatecas y Tamaulipas; la zona metropolitana de Guadalajara y Pachuca; Córdoba y Orizaba, Veracruz.

La *vulnerabilidad media* corresponde a la mayor parte de las localidades urbanas del país ubicadas en el centro, centro-occidente y oriente, desde Nayarit y Jalisco, hasta Veracruz, y coinciden con áreas con incrementos medios de temperatura y aumentos hasta de 40% en la precipitación.

Las *vulnerabilidades bajas y más bajas* se ubican en las zonas del país con menores aumentos de temperatura, de 2 a 2.5°C e incrementos hasta de 40% en la precipitación, como ocurre en algunas partes del Bajío, pero en particular en las ciudades del sureste de Veracruz, Oaxaca, Tabasco y Chiapas (fig. 4).

Por lo que se refiere a las industrias textil y papelera, de acuerdo con este modelo, las *vulnerabilidades oscilan entre los niveles alto y bajo*, según las combinaciones de incrementos de temperatura con aumentos de precipitación.

En suma, la determinación de la vulnerabilidad hacia el cambio climático es un asunto sumamente complejo para el caso de la industria, tanto por la enorme gama de modalidades que hay en este sector, como por la multiplicidad de factores que inciden en su vulnerabilidad. Cabe aclarar, que si bien como gran sector se considera menos vulnerable que otros sectores económicos, por su mayor capacidad de adaptación a esas variaciones, al interior del subsector existen enormes diferencias.

De acuerdo con el modelo CCC, como en el caso del sector energético, los niveles de vulnerabilidad de las distintas zonas industriales aparecerán más altos que con el modelo GFDL-R30.

## Referencias bibliográficas.

- Acosta Moreno, R. y J. Skea, 1994, Industry, energy and transportation: Impacts and adaptation, IPCC Working Group 2: Subgroup A.
- CFE, 1993, Estadísticas del sector eléctrico nacional, 1992, México.
- CFE, 1993, Informe de operación 1992, México.
- CFE, 1994, Unidades generadoras en operación. Sistema Eléctrico Nacional. 1993, México.
- Coll-Hurtado, A. y M. T. Sánchez-Salazar, 1991, Hoja. VI.8.1. "Yacimientos minerales", en *Atlas Nacional de México*, Sección Economía, Tomo III, Instituto de Geografía, UNAM.
- INEGI, 1993, Sistema de Cuentas Nacionales, México.
- Kashiwagi, T., 1994, Mitigation options; Industry, IPCC, Working Group 2, Subgroup A.
- Pemex, 1995, Memoria de labores, 1994, México.
- Magaña, V., C. Conde, O. Sánchez, C. Gay, 1997, "Assesment of current and future regional climate scenarios for Mexico", en *Climate Research*, Vol. 9, Nos. 1 y 2, pp.107-114.
- Romero, José, 1995, "Energía, emisiones y precios relativos", en *México ante el cambio climático. Segundo Taller del Estudio de País: México*, Cuernavaca, Mor, México, Mayo.
- Quintanilla, J. y M. Bauer, 1995, "Emissions of the energy chains in the Mexican Energy System", en: *México ante el cambio climático. Primer Taller del Estudio de País: México*, Cuernavaca, Mor. Abril, 1994.
- Reséndiz-Núñez, D. (coord.), 1994, El sector eléctrico en México, CFE-FCE, México.
- Sánchez-Salazar, M. T., 1991, Hoja VI.6.2. "Energía eléctrica", en *Atlas Nacional de México*, Sección Economía, Tomo III, Instituto de Geografía, UNAM.
- Sánchez-Salazar, M. T., M. Martínez, y N. Martínez, 1995, Informe final. Proyecto Estudio de País: México. Área vulnerabilidad. Subárea sistemas energéticos e industria. México.
- Sánchez-Salazar, M. T., 1995, "Marco de referencia sobre la vulnerabilidad de los sistemas energéticos y la industria ante el cambio global. El caso de México", en *México ante el cambio climático. Primer Taller del*

*Estudio de País: México*, Cuernavaca, Mor. Abril, 1994.  
Sánchez, E., M. Martínez, M. T. Sánchez-Salazar, y M. Cervantes, 1991, Hoja VI.1.2. "Uso del agua", en *Atlas Nacional de México*, Sección Economía, Tomo III, Instituto de Geografía, UNAM.  
SEMIP, S/F., Consumo de energía en la industria, SEMIP/Comisión de las Comunidades Europeas. México.  
SEMIP, 1994, Documento de prospectiva del sector eléctrico, México.