

# IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO CON BASE EN UN ENFOQUE SISTÉMICO

## ECONOMIC IMPACTS OF CLIMATE CHANGE BASED ON A SYSTEMIC APPROACH

Noé Arón Fuentes  
Alejandro Brugués  
German Osorio  
Gilberto Martínez  
Rafael Pérez  
Carlos Flores  
Alfredo Valadez

El Colegio de la Frontera Norte,  
México  
afuentes@colef.mx  
abrugues@colef.mx

### RESUMEN

Baja California se unió al grupo de 12 entidades mexicanas que han concluido la elaboración del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC-BC). Sin embargo, en el informe, los estudios de impactos en sectores socio-económicos y ecosistemas incluyen los efectos directos del Cambio Climático (CC), pero excluyen los efectos indirectos (interdependencias) y dinámicos (retroalimentación). El objetivo es integrar todos los impactos atribuibles al CC en un Modelo Regional Multisectorial de Simulación Dinámica (MRMSD) conceptualmente basado en un *Enfoque Sistémico* y metodológicamente apoyado en la *Dinámica de Sistemas*. La ampliación del modelaje muestra que los efectos adversos totales son entre dos y tres veces mayores que los efectos directos, lo que señala la importancia de desarrollar instrumentos que permitan la estimación de los efectos totales del deterioro del medio ambiente a nivel regional.

## ABSTRACT

Baja California joined a group of 12 Mexican entities that have concluded with the elaboration of the State Program of Action for Climate Change (Programa Estatal de (PEACC-BC in Spanish). However, in the report, studies of sectoral economic impacts include the direct effects of climate change (CC), but exclude indirect effects and (interdependencies) dynamic (feedback). The objective is to integrate all economic impacts attributable to CC in a Regional Multisectoral Dynamic Simulation Model (MRMSD) conceptually based on a *Systemic Approach* and methodologically supported in *System Dynamics*. The extension of the modeling shows that the total adverse effects of CC are between two and three times higher than the direct effects, which points out the importance of developing instruments that enable the estimation of the total effects of the deterioration of the environment at the regional level.

**Palabras clave:** insumo-producto, desarrollo regional, simulación dinámica

**Keywords:** input output, regional development, dynamic simulation

**JEL classification:** C67, D57, D58, R150

**Recepción:** 23 marzo de 2017

**Aceptación:** 25 de agosto de 2017.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California (PEACC-BC) surge a partir del Plan Nacional de Desarrollo de México: 2008-2013. Es el instrumento que vincula tanto la visión internacional sobre dicho fenómeno y los compromisos nacionales asumidos en la Estrategia Nacional de Cambio Climático; así como también los compromisos locales para desarrollar escenarios regionales de cambio climático (CC) para el siglo XXI de evaluación de los posibles impactos y la vulnerabilidad de diferentes sectores socio-económicos y ecosistemas locales ante los

posibles cambios del medio ambiente y de la definición de las medidas de mitigación y adaptación<sup>1</sup>.

Las preguntas fundamentales que intenta responder el PEACC-BC en tanto que las alteraciones de los ciclos biogeoquímicos (i.e., carbono, calor y agua) impondrán cada vez mayores costos a la sociedad y a los ecosistemas son: ¿cuál será el costo económico para los distintos sectores socio-económicos y ecosistemas atribuibles a los efectos de CC? y ¿cuánto le costará a la sociedad en su conjunto si no adopta medidas de mitigación y adaptación para enfrentar tal cambio?

Las respuestas a estas interrogantes en el PEACC-BC se llevaron a cabo mediante estudios que consideran las repercusiones posibles del deterioro ambiental sobre diversos sectores socio-económicos para los que se dispone de precios explícitos; tales como el agropecuario (subsector agrícola y ganadero), turismo, transporte, salud, energía y economía regional. Así como también otros estudios para ciertos ecosistemas en los cuales solo existen precios implícitos tales como el marino y la biodiversidad.

En el informe, sin embargo, los estudios sectoriales de impactos del CC son parciales y no incluyen los efectos indirectos (interdependencias) y dinámicos (retroalimentaciones). Lo cual es importante ya que es reconocido que el efecto directo generado por el CC en cualquier sector y en la economía global infravalora el efecto total, puesto que los efectos directos terminarán generando efectos indirectos y, a su vez, estos generarán efectos inducidos, generándose así un nuevo ciclo de efectos (Jemio y Andersen, 2013)<sup>2</sup>.

El propósito del presente trabajo es integrar todos los efectos asociados al CC en sectores socio-económicos claves y en la economía global en un modelo regional multisectorial de simulación dinámica (MRMSD) para Baja California. La ampliación del modelaje permitirá cuantificar los efectos totales atribuibles al fenómeno del CC en la entidad.

---

1 El estado de Baja California se unió a la lista de otras 11 entidades federativas mexicanas que han concluido sus PEACC (PEACC-BCS, 2012, p. 9).

2 De acuerdo con enfoque insumo-producto, el efecto directo de una disminución exógena en la demanda final (DF) en cualquier sector de la economía subvalúa el efecto total, ya que los efectos de la DF no se agotan con la demanda intermedia, sino que los efectos indirectos terminarán generando una caída en el ingreso de las empresas y hogares residentes que se podría traducir en una disminución en la inversión y en un menor consumo; los cuales, a su vez, generan un nuevo ciclo de efectos inducidos (Fuentes, Brugués y González, 2015, p.3).

El MRMSD está basado conceptualmente en el *enfoque sistémico*, que intenta recoger las interdependencias y retroalimentaciones fundamentales que subyacen en la sostenibilidad del sistema ecológico-económico-social. Así, según el subsistema del que se trate (usos del suelo, sector económico, grupo social, etc.), se recogen algunas características sistémicas genéricas que son universalmente requeridas para la sostenibilidad del sistema.

El comportamiento del MRMSD tiene su base en la *dinámica de sistemas* y está compuesto de ocho subsistemas: cambio del clima, usos del suelo, sector agropecuario, economía regional, formación bruta de capital, población, turismo y calidad de vida.<sup>3</sup> En el MRMSD están incrustados tres modelos: un modelo del uso de suelo agropecuario (agricultura y ganadería) que emplea una *matriz de transición de Markov*; un modelo de la economía regional intersectorial e intertemporal que utiliza una *matriz de insumo-producto de Leontief* y un modelo demográfico por cohorte de edad que se basa en una *matriz de transición de Leslie*.<sup>4</sup> El modelo general tiene controladores de oferta y de demanda. El cambio climático y uso del suelo agropecuario son los principales motores del modelo. El cambio de la distribución del suelo entre los distintos subsistemas agropecuarios determina la producción agrícola y no agrícola. La dinámica de la población es afectada por el sector agrícola y no agrícola vía la demanda laboral. A su vez, la población se vincula al turismo debido a que la calidad del agua es afectada por residentes y turistas. Finalmente, la calidad de vida incorpora la valoración social entre el capital material (ingreso per cápita) y natural (suelo y agua) en el comportamiento de la migración.<sup>5</sup>

Los resultados del estudio muestran que el MRMSD permite obtener una mayor precisión del impacto del calentamiento global, en particular, las estimaciones apuntan a que las pérdidas económicas en varios sectores cla-

---

3 El MRMSD aunque utiliza el concepto de equilibrio y considera toda la economía regional es dinámico-recursivo como el modelo TOPMARD, Johnson, Brayden y Refsgaard (2009), es decir, se resuelve período a período sin que exista una maximización real de funciones de utilidad o de producción en todo el horizonte temporal.

4 Los modelos de Markov, Leontief dinámico y Leslie son una forma de analizar el movimiento de alguna variable a fin de pronosticar el movimiento futuro de la misma (Ojeda y Gago, 2008).

5 El bienestar social general de los individuos y la sociedad en la región es evaluado por el concepto calidad de vida. Dicho concepto no debe confundirse con el nivel de vida (o capital material), que se basa únicamente en ingresos, riqueza o empleo (Tenorio, 2013).

ves y en la economía global del estado son entre dos y tres veces superiores que las reportadas en el PEACC-BC. Adicionalmente, el modelo dinámico propuesto podría adaptarse al resto de las entidades federativas lo que posibilita comparar interregionalmente el efecto adverso en la estructura sectorial y global debido al CC en el país.

El trabajo se divide en siete apartados. Después de la introducción la siguiente sección muestra las proyecciones de las variables climáticas (temperatura y precipitación) unidas a los escenarios de la acumulación de gases efecto invernadero en la entidad. La tercera sección resalta los impactos directos o previstos de los estudios sectoriales y el global en la entidad debido al CC según se registran en el PEACC-BC. La cuarta desarrolla conceptualmente la estructura del MRMSD compuesta por ocho subsistemas de acuerdo con el enfoque sistémico y la dinámica de sistemas. La quinta muestra diagramáticamente la conducta dinámica del MRMSD y las variables claves. En la sección 6 se cuantifican los impactos económicos sectoriales y el global del CC en el estado. Finalmente, en la sección 7, se presentan las conclusiones.

## **2. ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SEGÚN EL PEACC-BC**

El PEACC-BC tiene como objetivos principales desarrollar escenarios regionales del CC para el siglo XXI, evaluar el impacto y vulnerabilidad regional de diferentes sectores socio-económicos atribuibles a posibles modificaciones del medio ambiente y definir medidas de mitigación y adaptación regional ante el calentamiento global.

Por ello, en el informe un primer e importante componente es la generación de escenarios referenciales o proyecciones de variables climáticas. Se destacan los cambios en temperatura y en precipitación para el presente siglo bajo dos escenarios de la acumulación de gases efecto invernadero de origen antrópico: B1 (bajas emisiones, hasta 550 ppm) y A2 (altas emisiones, hasta 859 ppm).

En relación con las proyecciones de la variación promedio anual de la temperatura ambiental para la entidad —cuya temperatura media anual

está situada en 20°C—<sup>6</sup> en el escenario climático B1 se establece un incremento aproximado de 1°C para los próximos 50 años y de hasta 2.5°C hacia el final del actual siglo; en tanto que el pronóstico para el escenario de altas emisiones A2 considera un aumento de 2°C en la primera mitad del siglo y se prevé un cambio de hasta 5°C hacia la segunda mitad del mismo.<sup>7</sup>

En cuanto al cambio en el patrón de la precipitación—cuyo promedio anual es inferior a 250 mm—<sup>8</sup> en el escenario climático B1 se señala una caída en un rango de 12 a 15%; en tanto que en A2 se prevé una disminución que oscila entre 18 y 20 por ciento.<sup>9</sup>

En las proyecciones se destaca la gran variabilidad interanual en la precipitación bruta, que implica la ocurrencia de años muy lluviosos, seguidos de años con sequías que repercutirán en la disponibilidad de agua. Los escenarios de alta vulnerabilidad en la precipitación proyectan aumentos de hasta 20% en años lluviosos (efectos del Niño) y caídas de hasta 40% en años secos (efectos de la Niña).<sup>10</sup>

Por último, también en el informe se prevén efectos en la zona litoral del estado. Las proyecciones estiman un ascenso del nivel medio del mar de aproximadamente  $2 \pm 0.1$  mm/año. Se entiende que este ascenso en el nivel del mar no es uniforme a lo largo de las zonas costeras de la península bajacaliforniana.

### 3. IMPACTOS SOCIO-ECONÓMICOS SECTORIALES DEL PEACC-BC

En el PEACC-BC un segundo componente se refiere a la evaluación de posibles impactos y vulnerabilidad en diversos sectores socio-económicos

6 La temperatura promedio anual del aire no sobrepasa los 20°C en la mayor parte del estado, excepto en la región costera del Golfo de California y en la zona de Mexicali, donde la temperatura media puede ser mayor a 30 °C (PEACC-BC, 2012; p. 15).

7 Es importante señalar que el cambio proyectado para el escenario climático B1 es aproximadamente 0.5°C mayor al proyectado por el Instituto Nacional de Ecología (INE), en tanto que para el escenario A2 es de casi 1°C. Es decir, el PEACC-BC proyecta un cambio de hasta 5°C para el escenario climático A2, mientras que el INE proyecta 4°C de aumento en la temperatura para el estado (PEACC-BC, 2012, p. 25).

8 La precipitación estatal es 3.8 veces menor que la media nacional (773.8 m) (PEACC-BC, 2012; p. 10).

9 La diferencia entre el PEACC-BC y el INE en la proyección de la precipitación también es importante. El primero proyecta que para algunos años habrá disminuciones en la precipitación de hasta 30% para el escenario climático B1 y 40% para el escenario climático A2, para el segundo las disminuciones proyectadas son 10% y 20% respectivamente (PEACC-BC, 2012; p. 25).

10 El Niño y la Niña son partes opuestas de un fenómeno climático formalmente conocido como Oscilación del Sur (PEACC-BC, 2012; p. 10).

claves atribuibles a modificaciones del medio ambiente en Baja California —que se caracteriza por un clima semidesértico—.

En el informe se señalan repercusiones adversas para la población de la zona de la costa y fronteriza con Estados Unidos debido a la menor disponibilidad y calidad del recurso hídrico. En particular, resalta la gran dependencia de fuentes de agua originadas fuera de la región (Río Colorado) y de acuíferos locales que, en su mayoría, se consideran sobre-explotados. Se puntualiza que el Río Colorado suple 51% del agua total, mientras que los acuíferos locales proporcionan alrededor de 30% del consumo total del agua.<sup>11</sup> Además que, del total de agua disponible, el sector agrícola consume casi 87.1%, seguido por el sector público-urbano con 7.8% y el sector industrial con el 5.1% restante.

Destaca que la agricultura será uno de los sectores más dañados por el CC debido a los requisitos de riego, los aumentos en la evapotranspiración y la reducción del ciclo fenológico.<sup>12</sup> Específicamente, se señala que en los escenarios de bajas (B1) y altas (A2) emisiones habrá un impacto diferencial en la superficie de tierra dedicada a cada uno de los subsistemas productivos agrícolas (perennes y estacionales). Hace notar que, según el plan de cultivos, de las 470,150 hectáreas sembradas 23% de área se dedica a cultivos perennes, y 77% a cultivos estacionales; de estos 70% son de ciclo otoño invierno (OI) y 20% de segundos cultivos de ciclo primavera-verano (PV). El porcentaje de la superficie sembrada con cultivos estacionales en OI es 70% trigo, 15% algodón, 6.7% cebolla, 4.1% jitomate, 3.1% fresa, el resto es avena forrajera en OI. En el ciclo PV hay segundos cultivos sembrados; 30% trigo, 25% algodón, 9.7% cebolla, 7.1% jitomate y 4.1% fresa. En tanto, los porcentajes de siembra para cultivos perennes son 80% alfalfa verde, 8.5% uva, 8.1% espárrago y el resto para frutales (naranja, limón y dátil). Se estima en el informe que el CC inducirá una reducción mayor de los cultivos perennes en relación a los estacionales y que los cultivos del ciclo OI se reducirán el doble que los de ciclo PV.<sup>13</sup>

11 La cuenca binacional del Río Colorado es la única fuente de suministro de agua y se comparte con siete estados de la Unión Americana (PEACC-BC, 2012; p. 48).

12 Se distinguen tres regiones agrícolas: el Valle de Mexicali, que practica básicamente una agricultura de riego, la Zona Costa y San Quintín, que incluyen agricultura de riego y temporal (PEACC-BC, 2012; p. 126).

13 La reducción del ciclo fenológico del trigo (estacional) y alfalfa (perennes) por el CC muestra una iniciación

Se afirma, también, que la ganadería será otro de los sectores más perjudicados con una caída de 12 % en el escenario B1.<sup>14</sup> Cultivos como la alfalfa verde, que es considerada como el más importante ingrediente forrajero para el ganado por su alto valor nutricional, serán afectados por su elevado consumo de agua. Lo que podrá agravarse si la carencia del agua de riego abarca otros cultivos con menos requerimientos del mismo, pero que forman parte de las dietas del ganado como son: trigo, avena, sorgo forrajero y *rye-grass*. Asimismo, en el informe se considera que el área destinada al establecimiento de praderas y pastos tanto en el ciclo OI como en PV se verá disminuida por efectos del cambio en el clima.

En el PEACC-BC además se establece que, aunque es muy evidente la importancia del clima en las actividades de los subsectores agropecuarios, igualmente representa un activo muy destacado para el sector turístico. El clima permite la existencia de ciertos recursos naturales básicos para el desarrollo del sector, como las actividades en destinos de sol y playa, que son atractivos turísticos de la entidad.<sup>15</sup>

Ahora bien, según el informe con 472 hoteles, que entre todos ofertan 20,661 habitaciones, se satisface la demanda de visitantes residentes del país y del exterior. En el estado alrededor de 16% del PIB se utiliza ahora para la recreación y el turismo; por el CC al que también ha contribuido este sector, puede afectarse el PIB de -0,3% a -0,5% en 2030 en el escenario B1. Pérdida que podría verse magnificada en el orden de -0,7% a -1% del PIB en el escenario climático A2. El turismo afectará la construcción de hoteles y servicios complementarios en una amplia gama de ramas del sector comercio, industria y servicios.

En el informe, el impacto adverso del CC en los sectores agropecuario, manufacturero, comercio y servicios podría cambiar la superioridad de crecimiento económico del producto interno bruto estatal (PIBE) y del empleo regional, respecto al nacional. Puesto que, si bien es cierto, en las últimas tres décadas el PIBE y empleo regional (10.1% y 3.0%, respecti-

---

más temprana de su crecimiento y un retraso de su latencia, lo cual resulta en un mayor número de cortes, mayor tasa de crecimiento y un mayor consumo de agua (PEACC-BC, 2012; p.127).

14 En el Valle de Mexicali se esperan problemas en la adaptación del ganado al calor (Correa et al; 2002).

15 El sector turístico también es muy sensible a la disponibilidad de agua y al nivel medio del mar. Esto último propiciará la erosión de playas y del equipamiento turístico en las mismas (PEACC-BC, 2012; p.134).

vamente) crecieron a un ritmo superior al nacional (3.2% y 1.5%, respectivamente), esto puede cambiar.<sup>16</sup> De acuerdo con el informe, el incremento de 2°C en la temperatura media del aire y la reducción de la precipitación pluvial de 15% podría representar una pérdida promedio anual de entre -1% y -3% del PIB.<sup>17</sup>

En el informe se dice que el CC inducirá cambios en el tamaño y estructura de la población de la región.<sup>18</sup> Es decir, las menores opciones de trabajo, menores salarios y la menor calidad de vida podrán alejar a la población hacia otras regiones. La estructura de la población podrá cambiar debido, principalmente, al cambio en la demanda de puestos de trabajo que causará una emigración de jóvenes. Adicionalmente, puede inducir cambios cuantitativos en la población por factores cualitativos como la percepción sobre la calidad del ambiente, que ocasionará una revaluación de los migrantes respecto de sus necesidades y aspiraciones, y en su movimiento hacia las áreas urbanas de la entidad.<sup>19</sup>

En síntesis, en el PEACC-BC se realiza un esfuerzo por determinar los efectos negativos locales del CC basados en estudios separados y a partir de considerar los impactos directos o esperados en varios sectores socio-económicos y en la economía global. En otras palabras, los estudios de impactos sectoriales y de la economía global excluyen tanto los efectos indirectos (interdependencias) como los efectos dinámicos (retroalimentación).

#### **4. ESTRUCTURA EL MODELO REGIONAL MULTISECTORIAL DE SIMULACIÓN DINÁMICA**

Algunas instituciones y autores (Jemio y Andersen, 2013, p.2) afirman que ignorar los efectos sectoriales indirectos y dinámicos ocasiona que se sub-

---

16 Las diferentes estructuras productivas sectoriales entre la región y el país se deben básicamente a la existencia de sectores exportadores: agrícola, industrial o manufactura, y turístico (PEACC-BC, 2012, p. 15).

17 Las pérdidas económicas estimadas en la mayoría de los modelos del impacto del CC oscilan entre 3.0% y 7.0% del PIB en países en desarrollo (IPCC, 2012, p.13).

18 El fenómeno migratorio en el estado se caracteriza por recibir a más de 170,000 personas al año, lo que representa que cada mes el estado cuenta con más de 14,000 nuevos residentes (PEACC-BC, 2012, p. 99).

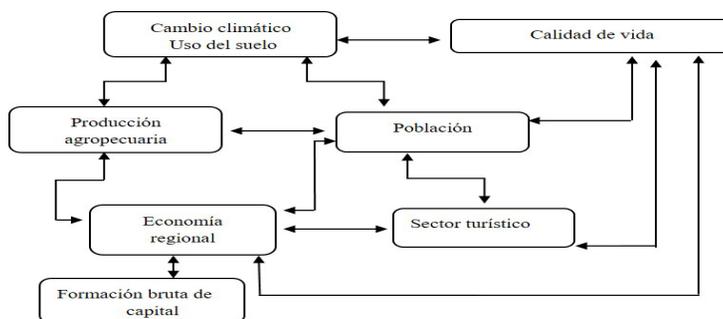
19 La población se considera urbana porque está asentada en localidades mayores a 15,000 habitantes. Esto es independiente del sector donde se desempeñan laboralmente (PEACC-BC, 2012, p.99).

estimen considerablemente los efectos del CC en la economía. Por ello, se debe ampliar la modelación realizada en el PEACC-BC para determinar el costo económico de sectores y el global en el estado atribuible al fenómeno del CC, al identificar los comportamientos interdependientes y de retroalimentaciones.

El modelo regional multisectorial de simulación dinámica (MRMSD) que se propone está conceptualmente basado en el enfoque sistémico e intenta recoger los vínculos y retroacciones fundamentales que subyacen en la sostenibilidad de los sistemas ecológico-económico-sociales. Así, según el subsistema de que se trate (suelo, sector económico, grupo social, etc.) se recogen algunas características sistémicas genéricas que son universalmente requeridas para la sostenibilidad del sistema ecológico-económico-social.

La estructura conceptual del MRMSD se presenta en la figura 1. Está construida sobre tres dimensiones básicas como son: medio ambiente, economía y población; consta de ocho bloques con vínculos indirectos y dinámicos entre ellos, por ejemplo, entre el CC y la producción agropecuaria, vía el uso del suelo; entre producción agropecuaria y la capacidad productiva (capital), vía la economía regional; entre el turismo, la economía y la calidad de vida, vía la población y entre el turismo y la calidad de vida, vía la población.<sup>20</sup>

Figura 1. Estructura general del MRMSD



Fuente: elaboración propia.

20 El MRMSD es concebido como una representación de la economía regional en un momento dado, donde se muestra un equilibrio ingreso/gasto de las principales interrelaciones económicas entre agentes productivos y los mercados, los cuales se ajustan por cambios en cantidades de factores, los precios son exógenos.

La especificación del MRMSD inicia con la construcción del módulo de “cambio climático” en la región. La modelación del cambio temporal de la temperatura del aire y la relación inversa entre precipitación pluvial bruta y temperatura del aire se realizó mediante el método de regresión lineal simple.

$$\begin{aligned} \text{Temp}(t) &= \alpha + \beta(\text{time}) \\ \text{Prec}_t^B &= \gamma - \delta(\text{Temp}) \end{aligned}$$

La primera ecuación indica que la temperatura promedio en la región se eleva, en promedio,  $\{[(\frac{\alpha+\beta}{\alpha}) - 1] * 100\}$  cada año, estimada de 1903 a 2003. La segunda ecuación señala que el coeficiente de conversión de temperatura del aire a precipitación pluvial es  $\delta$ . Además, la segunda ecuación sirve para obtener la precipitación neta, que se refiere a la fracción de la precipitación bruta caída que impacta a los diversos sistemas productivos agropecuarios. Luego, la precipitación neta es una fracción de la precipitación bruta calculada como:

$$\text{Prec}_t^N = \frac{(\text{Prec}_t^B - \text{Prec}_0^B)^2}{(\text{Prec}_t^B + 4 * \text{Prec}_0^B)}$$

El módulo del cambio climático es la fuente central de ajuste del uso del suelo de los subsectores agrícolas. La forma concreta en que se modela el cambio temporal del “uso del suelo agropecuario” en la región es mediante el uso de *Cadenas de Markov*. Es claro que el CC va a ser lo suficientemente grande para que nos veamos obligados a hacer cambios igualmente grandes en los sistemas agropecuarios regionales. Así, será necesario modificar – quizás radicalmente – los sistemas productivos, incluso cultivos y ganado en los que estos sistemas están basados.<sup>21</sup> Por ello, el problema del cambio del suelo se puede abordar como sigue, la superficie de la tierra de la región se distribuye en tres segmentos H1 (superficie cultivos estacionales), H2 (superficie cultivos perenes) y H3 (superficie de pastos y praderas para ganado). Cada superficie de tierra puede cambiar de una categoría de uso de la tierra a otro, en función de la temperatura y precipitación. Por ejemplo, el uso de la tierra puede cambiar de sistemas de

21 La decisión de cambios de uso de suelo es bastante complicada. Aquí, el propietario optimiza la superficie de su sistema productivo (usos del suelo). Su decisión “óptima” depende de una serie de consideraciones como disponibilidad de agua o cambios de temperatura para mantener el rendimiento de su sistema productivo (agrícola o pecuario).

cultivos estacionales a perenes con una probabilidad de  $H_{12}$ , que se llama la probabilidad de transición. En general, la probabilidad de transición del estado  $i$  al estado  $j$  está dada para cada combinación posible de  $i$  y  $j$  (incluyendo  $i = j$ ). El sistema puede cambiar de un estado a otro o permanecer constante.

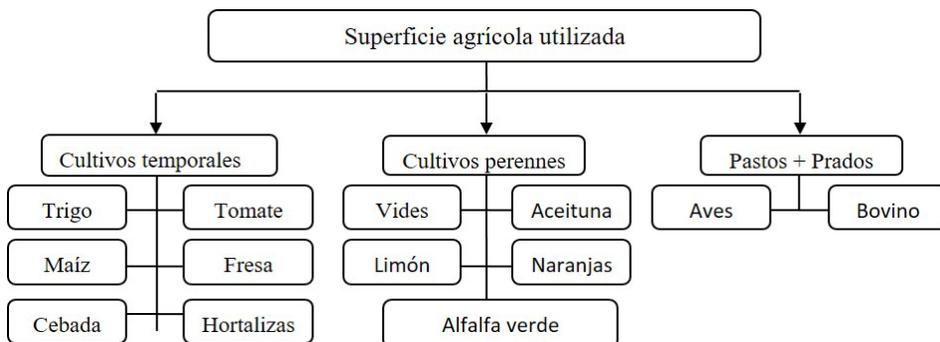
El cambio del estado es llamado comúnmente matriz de transición de Markov ( $H$ ), que es el controlador (*driver* en inglés) de los tres usos del suelo.<sup>22</sup> Después, a partir de esta matriz y dado el reparto de proporciones iniciales de la superficie en los subsectores agrícolas,  $P(t)$ , se podrán escribir las ecuaciones en diferencias que describen el paso del uso del suelo de un periodo  $t$  al periodo siguiente  $t+1$  como:

$$P(t + 1) = H_{ij} \cdot P(t)$$

El cambio de la distribución de la superficie de tierra entre los distintos subsistemas de la agricultura es la principal fuente de variación de la oferta agrícola, que es una variable clave del modelo y, a su vez, se vincula con la producción sectorial del resto de la economía, al tamaño y distribución de la población y a la calidad de vida de los habitantes de la región.

La variación temporal de la “producción agropecuaria” determina la oferta agrícola de la región. Es decir, la asignación de la superficie de tierra entre los diferentes subsectores agrícolas debido al CC define la producción del sector primario. El modelo desagrega la superficie agrícola utilizada de acuerdo con el árbol jerárquico representado en la gráfica 1.

Gráfica 2. Árbol jerárquico de actividades agropecuarias



Fuente: Elaboración propia con información directa.

22 La matriz  $T$  es una matriz cuadrada en la cual los elementos de cada columna suman siempre uno.

El esquema toma en cuenta la limitada capacidad de sustitución de sistemas productivos de los diferentes subsectores de la agricultura.<sup>23</sup> Así, se asume que las superficies del suelo de las actividades agropecuarias son determinadas exógenamente por el CC. Sin embargo, los productores compran insumos primarios –incluye trabajadores— según el cambio del uso del suelo agropecuario y de los coeficientes de insumos agropecuarios de cada sistema productivo. A su vez, estas compras de insumos intermedios incrementan la demanda de producción sectorial del resto de la economía (actividades no agrícolas).

Las categorías del uso del suelo agropecuario y la razón tierra-trabajo determinan la demanda del factor trabajo. Adicionalmente, esta producción sectorial forma parte de los inventarios de la economía regional. El módulo puede ser considerado como representativo de una situación de equilibrio particular del sector agropecuario en la región para los precios observados de los insumos (materias primas y trabajo) y productos en el periodo  $t$ .

Nuestro enfoque no se aleja demasiado del seguido por otros modelos sectoriales de oferta agrícola, basados en simulación dinámica, que incorporan restricciones de tipo tecnológico, de disponibilidad de insumos primarios y de trabajo (TOP-MARD, 2009, p. 3). La oferta agrícola se transferirá al movimiento de la economía regional y producirá cambios en los flujos migratorios de población.

La evolución de la “economía regional” se obtiene mediante el modelo insumo producto dinámico adaptado por Johnson (1985, p.18). Está claro que el CC induce un ajuste en el uso del suelo de los subsectores agrícolas que afecta la producción agropecuaria, esto impacta la trayectoria temporal de la producción regional y su distribución sectorial. El problema del ajuste de la producción sectorial puede ser abordado si consideramos el sistema de ecuaciones de balance de insumo producto dinámico.<sup>24</sup>

23 El planteamiento del modelo ha sido, por tanto, individualizar la distribución de la superficie por sistemas productivos por subsector agrícola, separándola de la asignación de la superficie por cultivo.

24 En la ecuación de balance del modelo insumo-producto,  $X = AX + C + G + I + E - M$ , las variables endógenas ( $X$ ) representan los niveles sectoriales de producción regional de los  $n$  sectores de la economía que están expresados por un vector columna de  $n \times 1$ , las variables exógenas (consumo  $-C-$ , gobierno  $-g-$ , inversión  $-I-$ , exportaciones  $-E-$  e importaciones  $-M-$ ) son las demandas finales de la producción de los sectores, los cuales están expresados por un vector de orden  $n \times 1$ . En tanto ( $AX$ ) es la demanda intermedia, donde

$$X(t + 1) - X(t) = [AX(t) + (G + C + I(t) + E - M) - X(t)]$$

El ajuste de producción sectorial,  $(X(t+1) - X(t))$ , propuesto eliminará la demanda regional excedente,  $[AX(t) + G + C + I(t) + E - M - X(t)]$  (lo que da un nuevo equilibrio) en una unidad de tiempo, pero únicamente si dicha demanda regional excedente y el ajuste de la producción sectorial permaneciera invariable ante las tasas corrientes. En la práctica, la demanda regional excedente variará a corto plazo, igual que el ajuste de la producción, lo que resulta en una especie de juego de caza del gato (ajuste de la producción) y el ratón (exceso de demanda). Si el proceso es convergente entonces el gato cazará al ratón en el largo plazo.

Hay que notar que, como un sistema ecológico, el ajuste en la producción sectorial es una función de la demanda regional excedente. La economía responde a los cambios en la demanda excedente (el desequilibrio) al aumentar o disminuir la producción sectorial en la dirección opuesta. El mecanismo de ajuste es denominado “inventarios no planeados”.

A causa de que el ajuste en la producción sectorial es, en sí misma, una tasa, esta es una ecuación en diferencias de segundo orden —los inventarios no planeados son aquellos que están determinados por el flujo, el cambio de inventarios; pero el nivel de cambio de inventario determina la variación de la tasa de cambio de la producción sectorial. Por lo tanto, la tasa de producción sectorial está determinada por los cambios en la tasa de producción sectorial, que requiere un sistema diferencial de segundo orden para solucionar el módulo.

El cambio en la demanda final es la más importante fuente de movimiento en la economía regional y el principal vínculo entre la agricultura y el turismo. La demanda final es la suma de varias categorías de demanda incluyen: 1) demanda intermedia por sectores agrícolas y no agrícolas,  $AX(t)$ ; 2) demanda final exógena (contempla el gasto de los hogares,  $C$ , y el del gobierno,  $G$ , pero excluye los sectores de agricultura y turismo); 3) demanda final del sector turismo; 4) demandas finales exógenas generadas por la calidad de vida inducida por la migración; 5) otra demanda final,

---

la matriz  $A$  de orden  $n \times n$  es la matriz de coeficientes técnicos o efectos directos. (Fuentes, Brugués y González, 2015, p.3)

derivada de transferencia de ingresos a los residentes de las regiones; 6) cambios en el ingreso del sector agrícola debido a variaciones de precio de los productos básicos y 7) cambios en el gasto e ingreso agrícola por cambios de política. El movimiento de economía regional se vincula con la formación de capital, induce cambios en la inversión turística y los provoca en el flujo de migración.

El módulo “capital regional” introduce endógenamente el proceso de formación de capital,  $I(t)$ , y las restricciones de capacidad sectorial al sistema económico regional,  $X(t) \leq X^C(t)$ . Los sistemas de ecuaciones de este módulo pueden escribirse como:

$$\begin{aligned} I(t) &= \widehat{B}[\widehat{d}X^C(t) - (X^c(t+1) - X^c(t))] \\ X^c(t+1) - X^c(t) &= \widehat{k}[X^{c*}(t) - X^c(t)] \\ X^{c*}(t) &= \alpha + \beta[AX(t) + C + G + I(t)] \end{aligned}$$

Con las restricciones siguientes:

$$\begin{aligned} X(t) &\leq X^C(t) \\ X^c(t) &\leq (X^c(t+1) - X^c(t)) \end{aligned}$$

Es decir, la inversión bruta distingue la inversión de depreciación,  $\widehat{Bd}X^C(t)$ , de la inducida  $\widehat{B}(X^c(t+1) - X^c(t))$ , también se contempla que los sectores podrán tener un exceso de capacidad ideal mediante la cual compararán la capacidad real,  $\widehat{k}[X^{c*}(t) - X^c(t)]$ . La capacidad ideal,  $X^{c*}(t)$ , es proporcional al nivel esperado de consumo, que a su vez se relaciona con la demanda de la economía,  $\alpha + \beta[AX(t) + C + G + I(t)]$ . La capacidad se mide en unidades de valor de la producción en lugar de en las del valor de la inversión.<sup>25</sup> La capacidad aumenta con más inversión pero disminuye con la depreciación. La tasa de producción sectorial está limitada por la capacidad del sector,  $X(t) \leq X^C(t)$ . Estas relaciones juntas crean una serie de rezagos temporales entre cambios en la demanda, cambios en la capacidad y los límites en el crecimiento sectorial. Lo cual se transferirá al movimiento de la producción sectorial de la economía regional.

<sup>25</sup> Es importante observar que la demanda de capital se determina mediante la aplicación de los coeficientes de capital (demandas por unidad de capacidad sectorial) a los niveles de inversión deseado.

La dinámica de la “población” se modela mediante la *matriz de transición de Lesli*. Es claro que el crecimiento poblacional depende tanto de la distribución de la natalidad y la mortalidad en las diferentes edades, las cuales le son características a la región, como de la distribución actual del número de individuos en cada clase de edad, lo que refleja las condiciones ecológicas recientes a las que ha estado expuesta la población.

Como el interés consiste en analizar la dinámica de la población estructurada por edades que vive en la entidad, consideramos siete cohortes de edad G1 (0-9), G2 (10-19), G3 (20-29), G4 (30-39), G5 (40-49), G6 (50-59) y G7 (60-más). El módulo representa los cambios demográficos que resultan de la natalidad, sobrevivencia, migración y calidad de vida. Por ejemplo, la probabilidad de que el grupo G1 en t pase al G2 en t+1 será L12, llamada probabilidad de transición demográfica de Leslie (L).<sup>26</sup> De manera abreviada, a partir de esta matriz y dada la composición de la población inicial, N(t), podemos escribir las ecuaciones en diferencias que describen el paso de un grupo de edad de un periodo t al periodo siguiente t+1.

$$N(t + 1) = L_{ij} N(t)$$

El sistema de ecuaciones expresa el cambio en el número de individuos en las clases de edad en el instante t+1, en función del número de individuos de cada grupo de edad en el instante t y de la información disponible sobre las variables consideradas anteriormente. Un medio ambiente cambiante o inestable que afecta a la economía en general es fuente de cambio en la migración que, a su vez, afecta el tamaño y estructura de la población regional.

El módulo “turismo” está interconectado con “población”. El comportamiento dinámico del turismo está determinado por la demanda de sus servicios. El sistema consiste básicamente en número de turistas, número de habitaciones de hotel, número de noches de estadía y el precio de habitación por noche. La tasa de beneficio del sector depende del gasto/ingreso total y de la tasa de ocupación de habitaciones de hotel. El número de habitaciones depende de las inversiones en el sector y de la tasa de depreciación de las habitaciones. Las habitaciones son el acervo de capital del sector turístico.

---

26 La matriz L es una matriz cuadrada en la cual todos los elementos son cero excepto, quizá, los situados en la primera fila y los situados en la primera diagonal debajo de la principal

Los ingresos totales del turismo, a su vez, influyen en el tamaño de la “economía regional” (ingreso, compras y empleo) y forman parte de los inventarios de la producción sectorial. La demanda de noches de estancia en hoteles depende de indicadores de la calidad del medio ambiente (agua, playas y zonas turísticas) vinculándose con los niveles de capital natural en la región. Además, la calidad del agua afecta la demanda de turistas.

La calidad del agua depende de la cantidad utilizada por residentes en el estado y turistas, así como de la tasa de reciclaje de la misma. La calidad de las playas está determinada por la tasa de ocupación hotelera (número de turistas divididos entre el total de habitaciones) y lo atractivo de las zonas turísticas depende del volumen de turistas que la visitan. Cuando se construye un nuevo hotel, una nueva zona de playa se desarrolla y después se pone a disposición de los turistas. En este sentido, se asume que a los turistas no les gustan las playas totalmente vacías o congestionadas.

Por último, el bienestar social general de los individuos y la sociedad es evaluado por el concepto “calidad de vida”. Este concepto no debe ser confundido con el nivel de vida o capital material que se basa en ingresos, riqueza o empleo. La calidad de vida incluye también indicadores del capital natural (calidad de agua, uso del suelo, etc.) y otros indicadores de capital cultural (identidad, recreación), capital histórico (pertenencia o cohesión social) y social (salud física, educación). Por ello, el módulo “calidad de vida” induce una migración endógena orientada por la oferta (cada inmigrante crea su propio puesto de trabajo a partir de la calidad de vida), que se agrega a la migración enfocada por la demanda (migración por motivos laborales).

Para determinar el comportamiento dinámico “calidad de vida” se necesita la estimación de un conjunto de “elasticidades de calidad de vida”, definidas como la proporción de migración neta (entrada de migrantes – salida de migrantes) para categorías de edad (20-59 y 60-más) debido a cambios en dos tipos de capital: material y natural. Como alternativa a la estimación directa de las “elasticidades de calidad de vida”, al no contar con información oficial o publicada se “tomaron prestadas” las elasticidades del estudio TOPMARD.<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Esta práctica ha sido común, por ejemplo, en los modelos sectoriales empleados para evaluar el impacto de las medidas alternativas de Política Agraria Común (PAC) en las negociaciones de la Unión Europea (García y Rivera, 1995; Casado y García, 2006, p. 941).

El bloque requiere, también, que se estimen las tasas de cambio para cada tipo de capital. Para el coeficiente del capital material, el cambio en el ingreso por habitante fue dividido por su coeficiente de regresión. Mientras que, en el caso del capital natural, se utiliza el cambio porcentual en proporción de las variables calidad del agua y usos del suelo.

Con los anteriores cálculos del capital se estima el nivel de migración inducida para dos categorías de edad (20-59 y 60-más). La primera categoría de edad incluye a los individuos activos en el mercado de trabajo (20-59), pero que migran (entradas o salidas) sin relación directa a las oportunidades de mercado de trabajo. La segunda categoría de edad contempla a los individuos retirados (60-más), pero que migran para una mejor calidad de vida. Esta última categoría de edad no afecta la oferta de trabajo, sino a la población y al ingreso de la economía regional. Ambas categorías de edad contribuyen a la demanda final (consumo) debido al cambio en el ingreso personal.

Para acomodar esta nueva migración por condiciones de vida u orientada por la oferta en la economía se necesita un incremento en las exportaciones para emplearlos y se tiene que sumar a la demanda final (consumo). De esta manera se supone que la nueva demanda final y el empleo mantienen las mismas estructuras regionales.

## 5. PROGRAMACIÓN DEL MODELO REGIONAL MULTISECTORIAL DE SIMULACIÓN DINÁMICA

El comportamiento del modelo MRMSD tiene su base en la *dinámica de sistemas*, que es una metodología para la construcción de modelos de simulación para sistemas complejos como los que son estudiados en ecología, economía y demografía.<sup>28</sup> La *dinámica de sistemas* aplica, básicamente, las ideas de interdependencia y retroalimentación, junto con la teoría de modelos en el espacio de estados y procedimientos de análisis numérico. Por lo tanto, es una metodología en la categoría de los denominados “sistemas suaves”.<sup>29</sup>

---

28 Un sistema complejo está compuesto por varias partes interconectadas o entrelazadas cuyos vínculos contienen información adicional y oculta al observador. Como resultado de las interacciones entre elementos, surgen propiedades nuevas que no pueden explicarse a partir de las propiedades de los elementos aislados (De Wit y Crookes, 2013, p. 2).

29 Un sistema suave es un sistema con propósitos, que no solo es capaz de escoger medios para alcanzar determinados fines sino que, también, es capaz de seleccionar y cambiar esos fines. En estos sistemas se

El objetivo del MRMSD, como ocurre en la dinámica de sistemas y en todas las metodologías de sistemas suaves, es llegar a comprender cómo la estructura del sistema modelado es responsable de su comportamiento. Dicha comprensión, normalmente, debe generar un marco favorable para la determinación de las acciones que pueden mejorar el funcionamiento del sistema modelado o resolver los problemas observados. La ventaja principal de esta técnica consiste en que tales acciones pueden ser simuladas a bajo costo, con lo que es posible valorar sus resultados sin necesidad de ponerlas en práctica en el mundo real.

La simulación del MRMSD se realiza mediante el *software Stella* (ISEE Systems, 2005), herramienta de modelado que integra la interdependencia y retroalimentación. Así, *Stella* es un programa de simulación dinámica con amplia capacidad interactiva que permite mostrar el modelo al utilizar procedimientos gráficos a través de íconos. En particular, emplea cuatro elementos de la simbología de Forrester.

1. Un “rectángulo”, representa una variable estado o acervo, la cual es una variable que se acumula en tiempo. Es importante observar que los rectángulos con sombra representan variables matriciales.
2. Una “válvula”, simboliza una variable flujo, la cual afecta el comportamiento de las variables estado o acervos. De nuevo, una válvula con sombra representa una variable expresada en términos de matrices.
3. Un “círculo”, representa una variable auxiliar, la cual afecta al valor de los flujos. Los círculos con sombra representan variables matriciales, los círculos sin sombra variables escalares y los círculos con un guion (~) una función gráfica de la variable.
4. Una “flecha”, significa un canal de material o un canal de información.

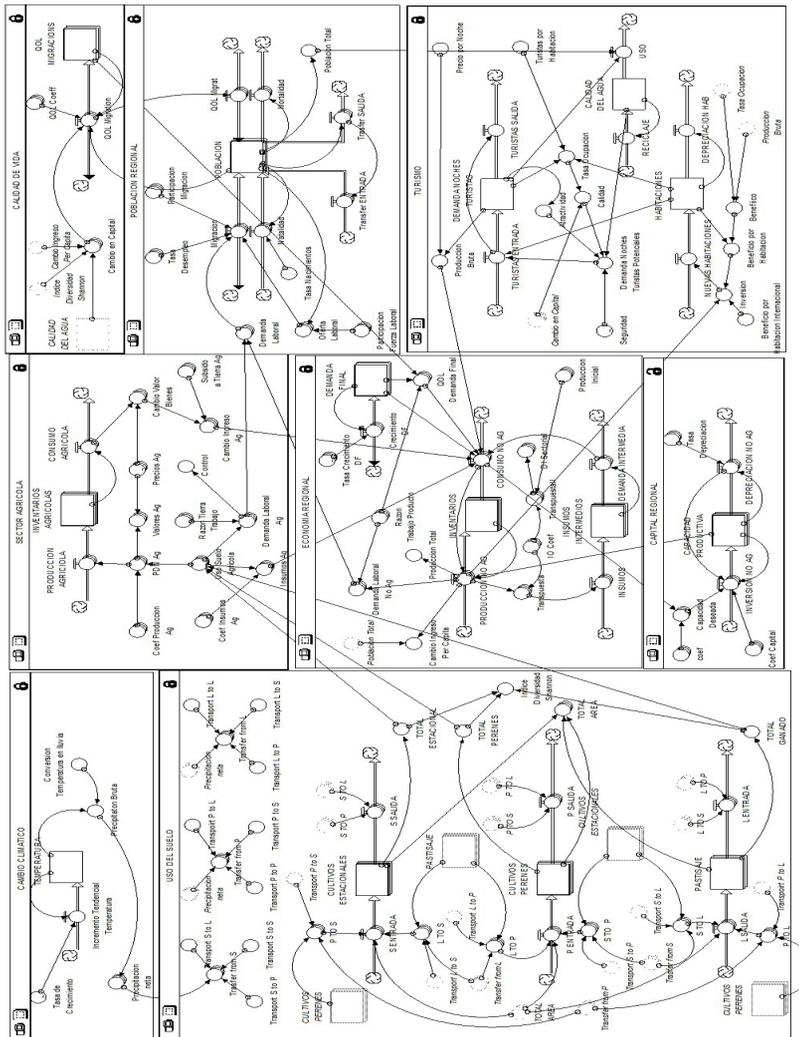
La programación del MRMSD en *Stella* se muestra en la figura 2. En ella podemos observar, en síntesis, que el modelo inicia en el bloque del cam-

---

dificulta la determinación clara y precisa de los fines, en contraste con los sistemas duros (como en ciencias físicas). Los sistemas suaves no tienen estructuras fácilmente identificables (Osorio, 2010, p. 45).

bio climático que se interconecta con el cambio en los usos del suelo, y este impacta a la producción primaria dividida en distintas actividades agrícolas. La oferta agrícola afecta el movimiento de los sectores de la economía y, en consecuencia, la demanda de trabajadores. Esto provoca que exista un exceso de oferta y demanda de trabajadores que se ajusta por migración y crecimiento poblacional natural. El crecimiento poblacional y la producción sectorial impactan al sector comercio y también afectan a la calidad de vida debido a cambios en dos tipos de capital: material y natural.

Figura 2 Estructura conceptual y programación del MAMSD



## 6. ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y RESULTADOS EMPÍRICOS

Para cuantificar los efectos totales atribuibles al fenómeno del CC en la entidad se debe establecer un *escenario climático base*. Dicho escenario servirá para ver cómo el CC se traduce en impactos sectoriales y como referencia para la evaluación en la economía global.<sup>30</sup> El escenario base no debe verse como el mejor pronóstico, ni como el resultado más probable. Los resultados de simulación deben verse sólo como indicativos y ser comparados en relación con el escenario base.

El *escenario climático base* consiste en una senda de crecimiento económico sustentable con el sistema ecológico-económico-social estatal apoyado en la tendencia de los últimos 30 años. En este escenario ninguna política de mitigación del CC es impuesta y se contrasta con los escenarios climáticos B1 y A2, que consisten en incrementar la temperatura y disminuir la precipitación.

En cada bloque del MRMSD las variables o indicadores ofrecen una panorámica de los resultados de la situación ambiental y territorial. No obstante, se seleccionaron únicamente ciertas variables (marcadas con asterisco) que se presentan y explican sistemáticamente.

**Cambio climático:** temperatura\*, precipitación bruta\* y precipitación neta\*

**Uso del suelo:** superficie de cultivos estacionales\*, superficie de cultivos perennes\* y superficie de pastos y praderas para ganado\*, superficie de tierra total\*

**Sector agropecuario:** producción agrícola subsectores\*, consumo agropecuario, demanda laboral\*, demanda de insumos intermedios\*, subsidios y precios de los bienes agrícolas

**Economía regional:** producción no agropecuaria por sector\*, empleo por sector\*, consumo no agropecuario, demanda laboral\*, inventarios, demanda intermedia y demanda final por componentes<sup>31</sup>

30 También sirve para analizar políticas y sensibilidad. Los dos análisis son ilustrativos de posibles ejercicios que se pueden realizar con modelos de simulación dinámica, Hannon y Ruth (2001).

31 Para simplificar los cálculos la MIPBC se agregaron tres sectores: I. Sector primario (agricultura, ganadería,

**Capital regional:** capacidad productiva actual\* y deseada, inversión y depreciación

**Población:** tamaño población\*, PEA\*, distribución por edad, oferta de trabajo, natalidad, mortalidad y migración\*

**Turismo:** ingreso total\*, número de turistas\*, número de cuartos\*, precio habitación, tasa de beneficio\*, tasa de ocupación\*, inversión\*, calidad del agua\*, reciclaje y uso del agua\*

**Calidad de vida:** ingreso per cápita y porcentaje de usos del suelo\*.

El MRMSD utiliza la matriz de insumo-producto de Baja California del año 2008 y hace los cálculos de simulación del sistema del año 2010 hasta el 2030. Las condiciones iniciales y las relaciones de las variables se basan en datos provenientes de diversas fuentes sobre la economía de Baja California (MIPBC-COLEF, 2008; INEGI, 2009); de los subsectores agrícolas (INEGI, 2010), sector turismo; en el uso del suelo agropecuario, proyecciones climáticas y disponibilidad de agua (PEACC-BC, 2012) y sobre datos demográficos (Conapo, 2010; INEGI, 2010).

El cuadro 1 muestra los valores iniciales y unidades de las variables endógenas clave para el escenario climático de Baja California.

*Cuadro 1. Valores iniciales de variables endógenas*

Parámetros	Valor	Unidades
Temperatura media 1 _/	20	°C
Precipitación bruta 2 _/	250	mm
Superficie cultivos estacionales	369,534	ha.
Superficie cultivos perennes	129,764	ha.
Superficie pastoreo + prados	25,908	ha.
Superficie total	525,206	ha.
Valor de producción cultivo estacional	\$5,581	miles
Valor de producción cultivo perenne	\$74	miles

---

silvicultura, pesca y minería), II. Sector secundario (industria de la transformación) y III. Sector terciario (comercio y servicios), Kozikowski (1988, p.115).

Valor de producción ganadera	\$1,443	miles
Valor de producción sector primario	\$8,849.2	miles
Valor de producción sector secundario	\$27,117	miles
Valor de producción sector terciario	\$60,394	miles
Valor del PIBE	\$ 96,360	miles
Empleo sector primario	38.6	miles
Empleo sector secundario	81	miles
Empleo sector terciario	281	miles
Empleo total	400.6	miles
Migración	137.8	miles
Población total	1,178	miles
Población económica activa	403	miles
Número de habitaciones de hotel	15,981	unidades
Visitantes extranjeros (turistas)	25,644	miles
Ingresos del sector turismo	\$ 9,669	miles

*Nota: Estadísticas oficiales de Baja California, varias fuentes.*

1\_ /  $Temperatura = 20.0 + 0.04 * Time$  (aumento de 0.03 anual en B1);

2\_ /  $Precbrutat = 250.3 - 1.717 * Temperatura$ .

Las variables climáticas del PEACC-BC indican un incremento de la temperatura media de 0.01°C por año para Baja California en el escenario climático base. La temperatura media se incrementará a finales del siglo XXI en 2°C (0.04°C) y 5.0°C (0.090°C) en los escenarios de bajas emisiones o B1 y altas emisiones o A2, respectivamente. La lluvia anual disminuirá, en promedio, 25 mm y 40 mm en los escenarios B1 (10%) y A2 (15%). Además, el valor de la precipitación neta anual o efectiva, que es medida como una fracción de los requerimientos hídricos de los dos cultivos de mayor importancia, trigo (cultivo estacional) y alfalfa (cultivo perenne) normaliza a 40.2 mm y 65.0 mm en los escenarios B1 (15%) y A2 (25%).<sup>32</sup> Los parámetros climáticos utilizados en el modelo en los escenarios B1 y A2 se presentan en el cuadro 2.

<sup>32</sup> Los requerimientos hídricos de los cultivos dependen principalmente de la especie, variedad, etapa ciclo fenológico, ciclo de cultivo y condiciones ambientales. En particular, la necesidad de agua está en un rango de entre 1000 a 1550 mm para el trigo y 1234 a 1350 mm para la alfalfa verde, Ojeda et al. (2011).

**Cuadro 2.** Variación de variables climáticas en los escenarios B1 y A2, 2010-2030

Var. climáticas	Escenario base			Escenario B1			Escenario A1		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Temperatura	20.0	20.01	20.02	20	20.30	20.60	20	20.90	21.80
Precipitación bruta	250.3	250.3	250.3	250.3	215.5	214.6	250.3	214.0	212.8
Precipitación neta	176.2	176.2	176.2	176.2	151.7	150.1	176.2	148.3	146.9

Fuente: Elaboración propia con base en MRMSD.

En el cuadro 3 se muestran los cambios en el patrón de usos del suelo entre los subsistemas productivos agropecuarios generados por el déficit hídrico y el aumento en el calor de la entidad. En los escenarios climáticos B1 y A2 al volverse más estacional el clima ocasiona efectos importantes sobre el manejo de los subsistemas productivos agropecuarios en la entidad, reduciéndose la superficie de tierra para cultivos perennes y pastos, en mayor medida que la superficie de tierra de cultivos estacionales.

**Cuadro 3.** Distribución del área por categoría de sistema productivo en los escenarios base, B1 y A2, 2008-2030.

Usos del suelo	Escenario base			Escenario B1			Escenario A1		
	2008	2020	2030	2008	2020	2030	2008	2020	2030
Estacional	369,534	352,189	336,736	369,534	353,251	337,684	369,534	358,603	347,994
Perennes	129,764	119,099	109,938	129,764	110,425	93,968	129,764	91,110	63,970
Pastoreo	25,908	24,618	23,471	25,908	23,387	21,112	25,908	17,776	12,197
Total	525,206	495,906	470,145	525,206	487,063	452,765	525,206	467,489	424,161

Fuente: Elaboración propia con base en MRMSD.

Al identificar los comportamientos interdependientes y de retroalimentaciones sectoriales, cuando existen bajas emisiones o B1 existe una reducción de las superficies de tierra para cultivos, estacional, perennes y pastos para ganado, de -8%, -27% y -18% respectivamente y cuando existen altas emisiones o A2 la caída es de -5%, -50% y -52%. Comparados con el escenario base de -8%, -15% y -10%, respectivamente.

En el cuadro 4 se presenta la variación en el volumen de producción, empleo y demanda de insumos agropecuarios inducida por el cambio del

patrón de cultivos y hato de ganado generado, a su vez, por el efecto invernal (escenarios B1 ó A2) en la entidad.

**Cuadro 4. Efecto en el sector agropecuario en los escenarios base, B1 y A2, 2010-2030**

	Escenario base			Escenario B1			Escenario A2		
<b>Año 2010</b>	<b>Producción</b>	<b>Empleo</b>	<b>Materias P</b>	<b>Producción</b>	<b>Empleo</b>	<b>Materias P</b>	<b>Producción</b>	<b>Empleo</b>	<b>Materias P</b>
Estacional	6,351	28.5	4,194	6,351	28.5	4,194	6,351	28	4,194
Perennes	2,045	8.6	618	2,045	8.6	618	2,045	9	618
Pastoreo	453	1.5	564	453	1.5	564	453	2	564
Total	8,849	38.6	5,376	8,849	38.6	5,376	8,849	39	5,376
<b>Año 2020</b>	<b>Producción</b>	<b>Empleo</b>	<b>Materias P</b>	<b>Producción</b>	<b>Empleo</b>	<b>Materias P</b>	<b>Producción</b>	<b>Empleo</b>	<b>Materias P</b>
Estacional	6,053	27	3,997	6,071	27	4,009	6,163	28	4,070
Perennes	1,877	8	567	1,740	7	526	1,436	6	434
Pastoreo	430	1	536	409	1	509	311	1	387
Total	8,358	36	5,100	8,214	36	5,042	7,895	35	4,886
<b>Año 2030</b>	<b>Producción</b>	<b>Empleo</b>	<b>Materias P</b>	<b>Producción</b>	<b>Empleo</b>	<b>Materias P</b>	<b>Producción</b>	<b>Empleo</b>	<b>Materias P</b>
Estacional	5,769	26	3,810	5,803	26	3,833	5,981	27	3,950
Perennes	1,723	7	521	1,481	6	448	1,008	4	305
Pastoreo	409	1	509	369	1	459	213	1	265
Total	7,897	34	4,838	7,643	33	4,736	7,177	32	4,511

Fuente: Elaboración propia con base en MRMSD.

Como se asume en el modelo, la superficie de tierra dedicada a las actividades agropecuarias está determinada exógenamente por el CC. Después, los productores del sector agropecuario ajustan a la baja las compras de insumos primarios, trabajadores y materias primas, en cualquiera de los dos escenarios. En el escenario de baja emisiones (B1) la caída media de las tres variables (producción, empleo y materias primas) de los tres subsistemas productivos agropecuarios (con variaciones entre sí de  $\pm 2\%$ ) es de  $-9\%$ ,  $-28\%$  y  $-18\%$ , respectivamente. Mientras que en el escenario de altas emisiones (A2) es de  $6\%$ ,  $51\%$  y  $53\%$ . Comparados con el escenario base de  $9\%$ ,  $16\%$ ,  $10\%$ , respectivamente

En el cuadro 5 se muestran las pérdidas económicas y sociales medidas a través de caídas en la producción, capacidad productiva sectorial (capital) y empleo en el sector agropecuario, manufacturero y comercio

y servicios, así como en la economía global ocasionadas por el CC en la entidad.

**Cuadro 5.** Efecto en la economía regional en los escenarios base, B1 y A2, 2008-2030

Año 2008	Escenario base			Escenario B1			Escenario A2		
	Producción	Empleo	Capital	Producción	Empleo	Capital	Producción	Empleo	Capital
Agropecuario	8,849	39	122	8,849	39	122	8849	39	122
Manufactura	27,117	81	5,394	27,117	81	5,394	27,117	81	5,394
Comercio y servicio	60,394	281	2,842	60,394	281	2,842	60,394	281	2,842
Producción (PIBE)	96,360	401	10,822	96,360	401	10,822	96,360	401	10,822
Año 2030	Producción	Empleo	Capital	Producción	Empleo	Capital	Producción	Empleo	Capital
Agropecuario	5,205	27	5,247	4,978	24	5,088	4,800	35	4,946
Manufactura	43,257	130	25,687	39,592	118	23,933	39,425	118	23,760
Comercio y servicio	101,054	470	68,156	97,813	455	66,026	97,488	454	65,799
Producción (PIBE)	144,011	554	93,937	135,595	451	89,459	134,856	551	88,823

Fuente: Elaboración propia con base en MRMSD.

De acuerdo con el modelo el CC tiene un efecto adverso sobre el crecimiento de sectores claves de la economía regional a través de diversos mecanismos: provisión de insumos primarios, cambios en la demanda final, variaciones en la capacidad productiva (capital), modificaciones en la demanda de noches de hotel, reciclaje de agua por cambios en turismo y población y menor demanda por caída de ingresos, entre otros. En el escenario climático de baja emisiones o B1 la disminución media de las tres variables (producción, empleo y capital) el sector agropecuario, manufacturero y comercio y servicios (con variaciones entre ellas de  $\pm 0.5\%$ ) es de  $-4\%$ ,  $-7\%$  y  $-4\%$ , respectivamente. En tanto que el efecto negativo en el PIBE será de  $-5\%$ , la caída del empleo regional de  $-10\%$  y la pérdida de capital menor a  $-5\%$ , en un periodo de 15 años.

En el escenario A2 los efectos del CC en sectores claves y la economía regional tienden a acumularse en el tiempo y pueden alcanzar magnitudes considerables. Los efectos adversos del escenario en la producción terminan generando una caída en el ingreso de las empresas y hogares residentes, que se traduce en una disminución en la inversión y en un menor

consumo, los cuales, a su vez, generan un nuevo ciclo de efectos inducidos, lo que dificulta que la economía retorne a los niveles de producción que se habían alcanzado de no haberse producido el CC. El escenario señala una caída mayor media de las tres variables (producción, empleo y capital) el sector agropecuario, manufacturero y comercio y servicios (con variaciones entre sí de  $\pm 0.8$  %) de -6%, -9% y -6%, respectivamente. Mientras que el efecto negativo en el PIBE será de -6.5%, la caída del empleo regional de -14 % y la pérdida de capital de menos de -5.4 %, en un lapso de 15 años.

La ampliación del modelaje del PEACC-BC muestra que los efectos totales negativos por sectores y a nivel general en la economía regional son entre dos y tres veces mayores que los efectos directos reportados en el informe, lo que apunta a la importancia de no excluir los efectos indirectos (interdependencias) ni los efectos dinámicos (retroalimentación) en la evaluación del deterioro ambiental a nivel regional.

En el cuadro 6 se muestra la interdependencia y dinámica de algunas variables demográficas (población, población económicamente activa y migración) vinculadas al nivel de actividad económica de la entidad, determinada, a su vez, por efectos del CC a escala regional.

En el análisis de los escenarios climáticos B1 y A2 es importante observar que, aunque se reconoce que no se puede determinar una relación univoca entre CC antropogénico y migración laboral, ya que intervienen diversos factores económicos y sociales en los flujos migratorios, sí se ha demostrado que la degradación ambiental actúa como un acelerador del proceso migratorio, lo que obliga a la población a buscar lugares que les puedan ofrecer medios de vida más estables y seguros.

En general, según el modelo, la dinámica demográfica regional guarda relación con el crecimiento económico y con la calidad de vida debido a los cambios en los dos tipos de capital (material y natural), que, al mismo tiempo, se ven afectados por el CC. Así, el cuadro presenta procesos de cambio “naturales”, es decir, muestran un descenso del tamaño de la población, acompañado de cambio en su estructura resultado de la salida de flujos migratorios en la categoría de edad de trabajo y de retirados que buscan una mejor calidad de vida.

La alteración climática en el entorno geográfico tiene claros estos efectos sobre la estructura de edades de la población en el escenario climático B1. Se estima que el nivel de migración inducida para dos categorías de edad laboral (10-19 y 20-29) es de -26.7 y -5.3 miles de individuos, esto es, una salida de migración en edades trabajo derivado de la contracción económica. Más aún, la categoría de edad que incluye individuos retirados (60 y más) muestra una salida de -6.6 miles de individuos que salen por cuestiones de percepción de calidad del ambiente. La salida de población neta es de -23.9 miles de individuos.

**Cuadro 6.** *Dinámica de población en los escenarios base, B1 y A2, 2010-2030*

Año 2010	Población	PEA	Migración	Población	PEA	Migración	Población	PEA	Migración
0 a 9	347	17.4	10.2	347	17	10.2	347	17	10.2
10-19	296	69.9	2.2	296	70	2.2	296	70	2.2
20-29	194	118.8	3.2	194	119	3.2	194	119	3.2
30-39	128	81.2	0.5	128	81	0.5	128	81	0.5
40-49	89	55.6	0.2	89	56	0.2	89	56	0.2
50-59	59	35.0	0.1	59	35	0.1	59	35	0.1
60 y más	65	29.7	0.1	65	30	0.1	65	30	0.1
Total	1,178	407.6	16.6	1,178	408	16.6	1,178	408	16.6
Año 2030	Población	PEA	Migración	Población	PEA	Migración	Población	PEA	Migración
0 a 9	264	13	7.8	264	13	7.8	262	13	8
10-19	391	92	-26.7	391	92	-26.8	385	91	-29
20-29	284	174	-5.3	285	175	-5.5	286	175	-8
30-39	192	122	-1.4	192	122	3.1	191	121	2
40-49	133	83	2.3	133	83	2.3	131	81	2
50-59	88	53	1.4	88	52	1.4	86	51	1
60 y más	51	24	-6.6	51	23	-6.5	49	22	-6
Total	1,405	561	-23.9	1,405	561	-24.1	1,389	555	-30

Fuente: *Elaboración propia con base en MRMSD.*

El escenario climático A2 apunta a un mayor cambio en la estructura de la población debido principalmente al cambio en la demanda de puestos de trabajo en la categoría de jóvenes (10-19 y 20-29) con -29 y -8 miles de individuos y de retirados (65 y más) con -6 mil individuos. La pérdida de población neta es de -30 mil individuos en la economía regional.

En el cuadro 7 se exhiben los datos de la interacción entre turismo, economía regional, medioambiente y el CC. Se destacan del cuadro las variables: producción bruta sectorial, demanda de noches de turistas, número de habitaciones, tasa de ocupación hotelera, beneficio monetario por habitación, calidad del agua, reciclaje del agua, monto de inversión en el sector y percepción de la calidad del servicio en el sector turismo. Es importante observar, antes de analizarlas, que las variables sujetas a estudio no incluyen el periodo estacional, en cuanto motivo de visita (invierno, verano y otoño), y que las relaciones entre estas variables muestran teóricamente efectos positivos y negativos.

**Cuadro 7.** Impacto en sector turístico en los escenarios base, Bly A2, 2008-2030

Años	Producción	Turistas	Habitaciones	Ocupación	Beneficio	Calidad agua	Reciclaje	Inversión	Calidad
2008	9,669	25,644	15,981	0.6	5,201	99	0.01	635	1.00
2020	10,129	26,864	20,718	0.54	4,926	92	0.08	601	0.73
2030	9,992	26,502	20,806	0.54	4,821	84	0.14	588	-0.91
Escenario B1									
Años	Producción	Turistas	Habitaciones	Ocupación	Beneficio	Calidad agua	Reciclaje	Inversión	Calidad
2008	9,669	25,644	15,981	0.6	5,201	99	0.01	635	100
2020	10,002	26,528	20,452	0.54	4,865	92	0.08	594	-0.87
2030	9,880	26,203	19,821	0.55	4,846	84	0.14	591	-2.29
Escenario A2									
Años	Producción	Turistas	Habitaciones	Ocupación	Beneficio	Calidad agua	Reciclaje	Inversión	Calidad
2008	9,669	25,644	15,981	0.6	5,201	99	0.01	635	1.00
2020	9,819	26,042	20,181	0.54	4,765	92	0.08	581	-2.43
2030	9,503	25,204	19,258	0.54	4,641	84	0.15	566	-5.39

Fuente: Elaboración propia con base en MRMSD.

En el modelo, se asume que la importancia de la actividad turística reside, en general, en la afluencia de visitantes y en la derrama económica que éstos generan en la entidad. Dicha importancia o impacto puede ser traducida directamente en construcción de nuevos hoteles, ingresos públicos y creación de nuevas fuentes de empleo; e indirectamente en la generación de servicios complementarios, en una amplia gama de ramas del sector de la manufactura, agricultura y comercio y servicios.

En cuanto a los viajeros fronterizos en la entidad tenemos los visitantes y turistas. Es decir, solo una proporción de turistas extranjeros demandan hospedaje en la entidad respecto al total de viajeros fronterizos (el rango oscila entre 35% y 45%). Así, en el escenario de bajas emisiones o B1 se registran las siguientes caídas: número de turistas que demandan hospedaje -1%, número de habitaciones -5%, tasa de ocupación hotelera -2%, beneficio monetario por habitación -1%, calidad del agua -7%, monto de inversión en el sector de -10% y una caída en la percepción de la calidad del medio ambiente de -219 por ciento. Se presenta, asimismo, un aumento de la cantidad de agua reciclada de 8 % por ciento. Por su parte, el producto bruto generado por el sector turismo disminuye -1 por ciento.

En el escenario climático de altas emisiones (A2) se observan las siguientes reducciones: número de turistas que demandan hospedaje -5%, número de habitaciones -7%, tasa de ocupación hotelera -2%, beneficio monetario por habitación -4%, calidad del agua -12%, monto de inversión en el sector de -14% y una caída en la percepción de la calidad del medio ambiente de -539 por ciento. Así como también un aumento de la cantidad de agua reciclada de 15 %, en tanto que el producto bruto sectorial cae 5 por ciento.

## 7. CONCLUSIONES

En este trabajo se amplió la modelación realizada en el PEACC-BC al abandonar la explicación simple de los impactos directos del CC a partir de estudios parciales, por un enfoque sistémico y relacional dinámico.

Para ello, planteamos un MRMSD que parte de la idea de concebir a la entidad federativa como un sistema ecológico-económico-social sustentable, que nos permite interpretarlo como un conjunto de subsistemas (suelo, sectores de actividad, grupos sociales) interrelacionados e interactuantes entre los que se mueve materia, en un flujo que sigue las trayectorias interconectadas. Los subsistemas están relacionados de tal forma que un cambio en uno de ellos tiene la capacidad de producir cambios en todos los demás. Desde esta concepción, asumimos que la entidad es un sistema suave y la conducta del sistema nos conduce a la idea de ciclo de retroacción,

definido como la serie de fases y cambios efectuados según una sucesión ordenada mediante la cual el sistema evoluciona a lo largo del tiempo y regresa en algún momento a las condiciones iniciales por las que ha pasado en una etapa anterior. En este sentido, el enfoque sistémico y la metodología de dinámica de sistemas permite tener una visión más detallada y rica sobre la magnitud, y cómo los impactos del CC transitan en los diferentes sectores claves y en la economía regional, en el largo plazo.

Los cálculos del MRMSD muestran que el CC tiene un efecto adverso sobre la estructura sectorial y la economía regional, no solamente por los efectos directos, sino también por los efectos indirectos y dinámicos sobre otros sectores de la economía regional, que se transmiten a través de diversos mecanismos: uso del suelo, provisión de insumos primarios, variación de demanda final, demandas de noches de hotel, reciclaje de agua por cambios en turismo y población, pérdida de capacidad productiva (capital), menor demanda por caída de ingresos, etc. Después, las pérdidas económicas globales estatales fluctúan en un rango de -5 y -6.5% del PIBE, que son entre dos y tres veces mayores que los efectos directos reportados en el informe, si no tomamos medidas de mitigación y adaptación del CC.

Igualmente se exhibe la importancia de los efectos en sectores claves ante el CC. En cualquiera de los escenarios climáticos existe una reducción de las superficies de tierra para cultivos estacional, perennes y pastos para ganado -8%/-5%, -27%/-50% y -18%/-52%; en el sector agropecuario una disminución media de las tres variables (producción, empleo y materias primas), de los tres subsistemas productivos agropecuarios (con variaciones entre ellas) de -9/-6%, -28%/-51% y -18%/-53%; en la economía regional una caída promedio de las tres variables (producción, empleo y capital) de los sectores agropecuario, manufacturero y comercio y servicios (con variaciones entre sí) de -6%, -9% y -6%; en el tamaño y estructura de la población y en la migración inducida para dos categorías de edad laboral (10-19 y 20-29) de -26.4/-29 y -5.3/-8.0 individuos y de retirados (65 y más) con -6.6/-6.0 individuos. Además, muestra graves impactos negativos en el sector turístico.

Por último, para que el PEACC-BC no se convierta únicamente en un catálogo de buenas intenciones o en un marco regulatorio sin capacidad

de aplicación en el estado es importante precisar de forma más exacta la magnitud de las consecuencias ocasionadas por el CC a nivel regional y usar el MRMSD para evaluación de políticas del medio ambiente.

## **Bibliografía**

- Alam, T. y M. Waheed (2006) Sectoral effects of monetary policy: evidence from Pakistan, *The Pakistan Development Review*, 45: 1103-1115.
- Casado, J. M. y A. Gracia. 2006. “Modelo español de simulación econométrica de políticas agrarias (SEPA)”, *Estudio de Economía Aplicada*. 24(3): 941-978.
- Consejo Nacional de Población (Conapo). 2010. Bases de datos, en [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones\\_Datos](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos)
- Correa, A., L. Avendaño., A. Rubio., D. Armstrong., J. Smith y S. de Nise. 2002. “El efecto de un sistema de enfriamiento en la productividad de vacas lecheras bajo estrés calórico”, *Agrociencia*, 36(1): 531-539.
- De Wit, M. y D. J. Crookes. 2013. “Improved decision-making on irrigation farming in arid zones using a system dynamics model”. *South Africa Journal of Science* 109:11/12, pp.1-8.
- Fuentes, N. A., A. Brugués y G. González König. 2015. “Modelo de Insumo-Producto Dinámico”, *Revista de Economía*, Vol. XXXII, Núm. 84, pp.79-107.
- García Álvarez-Coque, J. M. y L. M. Rivera. 1995. “Un modelo para el diagnóstico económico y la simulación de las políticas agrarias”, *Congreso Nacional de Economía y Sociología Agraria*. Madrid, España (mimeo).
- Hannon, B. y M. Ruth. 2001. *Dynamic Modeling Systems*, Springer-Verlag, 409 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. Censos económicos, en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/default.asp?s=est&c=14220>
- . 2010. Anuario de estadísticas por entidad federativa 2010, en [http://centro.paot.org.mx/documentos/inegi/anuario\\_estadisticas\\_2010.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/inegi/anuario_estadisticas_2010.pdf)

- , 2010. Censo de población y vivienda, 2010, en <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/>
- Jemio, L.C. y L.E. Andersen. 2013. “Cambio climático en Bolivia hasta 2100: integración de efectos directos, indirectos y dinámicos usando un modelo de equilibrio general computable” en <http://www.inesad.edu.bo/bcde2013/papers/BCDE2013-34.pdf>. La Paz, Bolivia. 29 pp. (mimeo).
- Johnson, T.G. 1985. “A dynamic input output model for small regions”, *Review for Regional Studies*, 16(1): 14-23.
- Johnson, T.G., J. Brayden y K. Refsgaard. 2009. “A system dynamics model of agriculture and rural development: The TOPMARD core model”, 107th EAAE Seminar, Sevilla, España, Enero-Febrero, 2008 (mimeo).
- Kozikowski, Z. 1988. Técnicas de planificación macroeconómica, Editorial Trillas, México.
- Ojeda, I. y J. Gago. 2008. Métodos matemáticos para estadística, Colección manuales uex – 58, Universidad de Extremadura.
- Ojeda Bustamante, W., E. Sifuentes, M. Íñiguez y M.J. Montero. 2011. “Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos”, *Agrociencia*, 45(1): 1-11.
- Osorio, P.H. 2010. Propuesta de un modelo de simulación como herramienta en la justificación y comprensión de la toma de decisiones en la inversión pública. Un enfoque de sistemas, tesis doctorado, Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- PEACC-BC. 2012. Programa estatal de acción ante el cambio climático, Semarnat, Gobierno del Estado de Baja California e Instituto Nacional de Ecología.
- Tenorio, L. 2013. Dinámica de sistemas: visión sistémica del mundo real, en <https://www.google.com.mx/tenorio>.
- Towards a Policy Model of Multifunctional Agriculture and Rural Development: TOP-MARD (2009). Publishable Final Activity Report. UHI Millenium Institute. Submission date june 2008. Germany.
- Stella. 2005. ISEE Systems, en <https://www.iseesystems.com/> (version 9.1).