

EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD CON MODELOS DINÁMICOS. PRIMEROS AVANCES EN EL ESTUDIO DEL OASIS DE COMONDÚ, MÉXICO

SUSTAINABILITY ASSESSMENT WITH DYNAMIC MODELS. FIRST STEPS IN THE STUDY OF OASIS OF COMONDU, MEXICO

AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE COM MODELOS DINÂMICOS. PRIMEIROS PASSOS NO ESTUDO DO OÁSIS DE COMONDÚ, MÉXICO

ALICIA TENZA P.^{1*}, ANDRÉS GIMÉNEZ C.², IRENE PÉREZ I.³, JULIA MARTÍNEZ F.⁴, MICHELINE CARIÑO O.⁵

RESUMEN

El oasis de Comondú es un agroecosistema de gran riqueza ecológica y cultural estrechamente ligado a la presencia de agua en un entorno árido. La subsistencia de sus poblaciones desde antes de la época misional hasta nuestros tiempos es una muestra explícita de sustentabilidad. Sin embargo, condiciones socioeconómicas y ambientales externas han desequilibrado este sistema socioambiental, que se dirige a su declive y desaparición. Nuestro objetivo general es evaluar la sustentabilidad de este sistema socioambiental mediante el enfoque de indicadores integrados en modelos dinámicos. El objetivo de este artículo es presentar este emergente enfoque y mostrar los primeros pasos de esta investigación: la construcción participativa de un modelo conceptual de nuestro sistema de estudio. Hemos identificado las principales variables e interrelaciones, y los procesos históricos que han influido en su dinámica. El modelo conceptual resultante incluye los subsistemas social y económico-productivo. La dinámica general del sistema de Comondú se encuentra en gran medida bajo el control de variables

Recibido para evaluación: 19 de junio de 2012. **Aprobado para publicación:** 28 de abril de 2014

1 Universidad Miguel Hernández. Magister en Agroecología. Elche, España.

2 Universidad Miguel Hernández. Doctor en Ciencias Biológicas. Elche, España.

3 Arizona State University. Doctora en Ciencias Biológicas. Arizona, Estados Unidos de América.

4 Universidad de Murcia. Doctora en Ciencias Biológicas. Murcia, España

5 Universidad Autónoma de Baja California Sur. Doctora en Historia. Baja California, México

Correspondencia: atenza@umh.es

externas, climáticas como huracanes y precipitaciones, y de carácter socioeconómico, como la deslocalización sociopolítica, las ayudas gubernamentales y la intensificación agrícola exterior.

ABSTRACT

The agroecosystem of the oasis of Comondú is a rich ecological and cultural landscape closely linked to the presence of water in an arid environment. The permanence of populations, from the Indian period to the present is an example explicit of sustainability. However, this socio-ecological system has become unbalanced by external socioeconomic and environmental conditions. The agroecosystem of the Oasis of Comondú goes to his decline and demise. Our overall objective is to assess the sustainability of this socioecological system with the framework of integrated assessment of sustainability with dynamic models. The aim of this paper is to present this new approach and show the first steps in this research: participative construction of a conceptual model of our system under study. We have identified the main variables and relationships, and historical processes that have influenced its dynamics. The conceptual model resulting from this interaction includes social, economic and productive subsystems. The general dynamic of Comondú system is largely under the control of climatic and socio-economic external variables, such as hurricanes, rainfall, the socio-political relocation, government assistance and the external agricultural intensification.

RESUMO

O oásis de Comondú é um agroecossistema de grande riqueza ecológica e cultural estreitamente ligado à presença de água cercado por um ambiente árido. A subsistência de suas populações, antes mesmo das missões e até os dias de hoje, é uma amostra explícita de sustentabilidade. No entanto, condições sócio-econômicas e ambientais externas desequilibraram este sistema sócio-ambiental, que se dirige a seu declive e desaparecimento. Nosso objetivo geral é avaliar a sustentabilidade do sistema sócio-ecológico, concentrando-se na avaliação integrada da sustentabilidade com modelos dinâmicos. O objetivo deste trabalho é apresentar esta nova abordagem e mostrar os primeiros passos nesta investigação: construção participativa de um modelo conceitual de nosso sistema de estudo. Foram identificadas as principais variáveis e relações e processos históricos que influenciaram a sua dinâmica. O modelo resultante inclui os subsistemas sociais e econômico-produtivo. A dinâmica geral do sistema de Comondú encontra-se em grande parte sob o controle de variáveis externas, sendo elas de caráter climático, como furacões e precipitações, e de caráter sócio-econômico, como a deslocalização sócio-política, ajudas governamentais e o fortalecimento agrícola exterior.

PALABRAS CLAVE:

Sustentabilidad, Agroecosistema, Dinámica de sistemas, Aridez, Multidisciplinar

KEYWORDS:

Sustainability, Agro-ecosystem, System dynamics, Aridity, Multidisciplinary

PALAVRAS-CHAVE:

Sustentabilidade, Agroecosistema, Dinâmica de sistemas, Aridez, Multidisciplinar

INTRODUCCIÓN

Desde las últimas décadas del siglo XX, las agendas internacionales, el mundo académico y científico, y las ONG, han centrado sus esfuerzos en la búsqueda de modos de vida y de aprovechamiento de los recursos naturales de carácter sustentable [1]. A pesar de estos propósitos, seguir ignorando la complejidad de los sistemas, las múltiples relaciones establecidas entre aspectos sociales, culturales, ambientales, económicos e institucionales, y los cambios que se producen en el tiempo, impide llegar a una resolución exitosa, duradera, y ajustada a la realidad.

No existe una única definición de sustentabilidad, puesto que depende del sistema de valores. Por ese motivo la sustentabilidad debe definirse localmente, con atención a la diversidad sociocultural y ambiental. Es un concepto complejo y multidimensional que implica entender la interrelación entre aspectos sociales, económicos, ambientales e institucionales. También es dinámico. No se trata de llegar a un ideal prefijado, sino de poseer la capacidad adaptativa o de cambio que garantice la perdurabilidad del sistema en un estado deseado, a pesar de las perturbaciones y fluctuaciones que puedan haber tanto en un contexto ambiental, como social y/o económico. Tan importantes son las metas que se trazan como el camino elegido para lograrlas [2].

El presente artículo se enmarca dentro de este contexto de búsqueda de la sustentabilidad [3], y de la necesidad de considerar la complejidad característica de los sistemas socioambientales, que son el centro de muchos de nuestros estudios. El estudio de estos sistemas no es la simple suma del estudio de los aspectos sociales y los aspectos ambientales, sino que considera la interacción entre ambos y sus propiedades emergentes. Las evaluaciones de sustentabilidad han ido evolucionando con el tiempo, desde meros listados de indicadores, indicadores agregados y ponderados en un valor único, hasta la creación de marcos de evaluación de sustentabilidad [4]. Dentro de esta última categoría destacamos el enfoque de indicadores integrados en modelos dinámicos, que es un campo de investigación relativamente reciente y en fase de desarrollo. Sin embargo, está generando interesantes resultados [5]. La presente investigación está inserta dentro de este enfoque. Esta vertiente responde a la necesidad de considerar el carácter dinámico y complejo de los sistemas socioambientales, y de partir de la base de un conocimiento profundo del sistema bajo estudio para establecer mediante el uso de indicado-

res operativos cuál es el estado del sistema respecto a objetivos específicos de sustentabilidad. Como bien sabemos, la expansión y adaptación de nuestra especie en el planeta ha sido enorme. A pesar de que tristemente lo más llamativo es el carácter depredador de la reciente sociedad industrial, no cabe duda de que todavía existen pueblos y culturas que cada día de su existencia es una lección para el resto. Mantienen un equilibrio dinámico con su entorno, y su persistencia es una prueba explícita de sustentabilidad.

En Baja California Sur (México), la existencia de cuerpos de aguas temporales y permanentes en un entorno árido, como son los oasis, ha permitido el asentamiento humano desde las épocas indígenas a la misional, al auge de los ranchos, y al florecimiento de una nueva "cultura oasisana", fruto del mestizaje cultural entre rancheros e indios. Esta cultura ha desarrollado actividades agropecuarias acordes con la irregularidad en la disponibilidad de agua y la aridez circundante [6].

Nuestro sistema de estudio es el sistema socioambiental del oasis de Comondú (figura 1). Es uno de los oasis más grandes y mejor conservados, tiene población permanente y reúne las características de la historia, la problemática y la potencialidad de los oasis de Baja California Sur.

Este sistema socioambiental está en peligro de desaparecer. Como en muchos otros sistemas rurales tradicionales, las condiciones del actual mundo globalizado conducen a la pérdida de rentabilidad de sus

Figura 1. Ubicación del municipio de Comondú.



actividades tradicionales, a la intensificación de los usos, al forzamiento de entradas y salidas de materiales y energía del sistema, a la intervención de políticas inadecuadas, y a las incertidumbres climáticas [7]. El sistema socioambiental del oasis de Comondú afronta problemáticas de índole socioeconómica como el despoblamiento por falta de oportunidades laborales y de educación, y la pérdida de rentabilidad de sus actividades agropecuarias. También de carácter ambiental como la recurrencia de eventos climáticos extremos (sequías y huracanes), que podrían agravarse por efecto del calentamiento global.

Mediante el enfoque de evaluación integrada de la sustentabilidad queremos conocer el funcionamiento del agroecosistema del oasis de Comondú, qué factores son clave para la sustentabilidad del mismo, qué amenazas se ciernen sobre él, y qué medidas apoyadas en el conocimiento en profundidad de este sistema, en sus fortalezas y en las aspiraciones de sus habitantes, pueden desarrollarse para que este paisaje natural y cultural pueda ser revalorizado. En particular, los objetivos específicos de este artículo son: 1) presentar el marco metodológico general de la evaluación integrada de sustentabilidad y 2) mostrar los primeros pasos de esta investigación: la construcción participativa de un modelo conceptual del sistema socioambiental del oasis de Comondú.

Marco metodológico: Evaluación Integrada de Sustentabilidad

La evaluación integrada de sustentabilidad tiene dos componentes esenciales: un modelo descriptivo (cuya fase de conceptualización atañe al presente artículo) y un modelo de valoración (Figura 2). El modelo descriptivo, en nuestro caso, es el modelo dinámico del sistema bajo estudio con sus variables e interrelaciones. El

modelo de valoración reúne los objetivos específicos de sustentabilidad, los criterios para perseguir estos objetivos, y los indicadores sencillos y cuantificables, que son los elementos operativos que se deben integrar en el modelo dinámico para señalar en qué estado está el sistema en cada momento, y hacia qué dirección va respecto a los objetivos de sustentabilidad establecidos cuando ponemos a prueba posibles escenarios futuros [8].

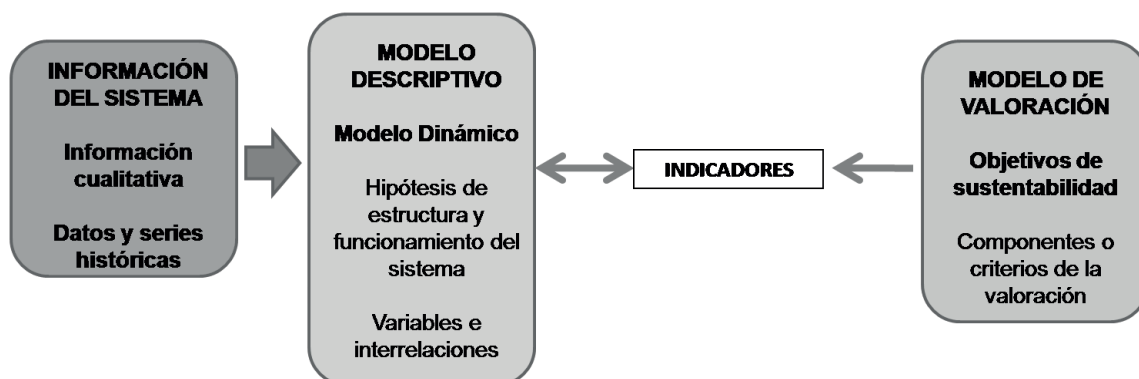
La definición de los objetivos específicos de la sustentabilidad y el establecimiento de sus criterios o componentes resulta interesante de implementar mediante procesos de participación con los actores locales y otros agentes interesados. Esto puede facilitar una gestión adaptativa que aproxime el sistema a los objetivos de sustentabilidad buscados.

Respecto a los modelos dinámicos, éstos se inscriben en el paradigma de la Dinámica de Sistemas, que aborda el estudio de los problemas del mundo real desde un punto de vista holístico. La complejidad y la interdisciplinariedad forman parte indisoluble de este paradigma. El objetivo básico de la Dinámica de Sistemas es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema [9]. Los modelos dinámicos resultan especialmente interesantes para el estudio de problemas relacionados con la sustentabilidad, puesto que requieren de una perspectiva dinámica, a largo plazo y que integre factores sociales, económicos y ambientales [10].

MÉTODO

La modelización dinámica es un proceso iterativo en todas sus etapas. De este modo se corrigen errores

Figura 2. Evaluación integrada de sustentabilidad.



y se mejora la comprensión del funcionamiento y la estructura del sistema bajo estudio [9]. Para resumir el proceso podemos decir que el modelado se divide en tres fases principales: 1) la conceptualización, que es una descripción cualitativa del sistema de estudio; 2) la modelización cuantitativa, que incluye la formulación matemática, las validaciones y la calibración con series históricas; y 3) la generación y exploración de escenarios futuros. Es en esta última fase donde se integran los indicadores de sustentabilidad.

Mientras que, la fase de modelización cuantitativa suele ser desarrollada por los propios investigadores, las fases de conceptualización y exploración de escenarios pueden ser implementadas y mejoradas sustancialmente mediante procesos participativos [11].

Cada vez es más evidente que el estudio de sistemas socioambientales requiere de enfoques que contemplen la participación de la población afectada, ONG, personal administrativo, técnicos y expertos en diferentes disciplinas. La integración del conocimiento y de los diferentes discursos, además de enriquecer notablemente el proceso, conlleva a la implicación real de las partes para conseguir los objetivos propuestos [12].

En el presente artículo, nos centramos en la primera fase del modelo dinámico, la conceptualización del sistema, la cual consiste básicamente en una descripción cualitativa. Para ello, hemos recurrido a la revisión bibliográfica, a entrevistas preliminares a los habitantes del oasis de Comondú y a la consulta de estadísticas oficiales disponibles en distintos organismos gubernamentales de México como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Registro Agrario Nacional (RAN).

A partir de esta primera aproximación, hemos construido un modelo semilla. En este modelo inicial se hace una primera definición de la problemática, se identifican los principales subsistemas y variables que lo componen, los procesos que han intervenido en su dinámica, y los límites temporales y espaciales adecuados para recoger en la simulación los principales cambios y respuestas del sistema frente a estos procesos. Este modelo constituye como tal, nuestra hipótesis acerca de la estructura y el funcionamiento del sistema.

El modelo inicial ha sido sometido a discusión con los miembros de la RIDISOS (Red Interdisciplinaria para

el Desarrollo Integral y Sustentable de los Oasis Sudo-californianos). Hemos incorporado cada una de las opiniones y sugerencias, y hemos vuelto a someter el modelo nuevamente a revisión. El proceso se completa cuando todos los participantes están conformes con el modelo conceptual. Sin embargo, esto no excluye de futuras modificaciones si fueran necesarias al avanzar en la modelización cuantitativa.

El modelo conceptual se compone a su vez de un modelo verbal y un diagrama causal. El modelo verbal describe a modo de historia la dinámica del sistema. Se ha identificado el horizonte temporal y espacial del modelo, y los subsistemas con las principales variables e interrelaciones. El diagrama causal muestra de manera gráfica las variables y relaciones de causa-efecto entre ellas. Para elaborarlo hemos empleado el software Vensim©, pero existen otros programas similares como Stella, ithink y Powersim.

Este modelo conceptual será el punto de partida para la planificación de la obtención de las series de datos necesarias para avanzar en las siguientes fases de la investigación.

RESULTADOS

Descripción histórica

La disponibilidad de agua dulce facilitó el asentamiento y el desarrollo cultural de las poblaciones indígenas: los Cochimís y los Guaycuras. Transitaban entre los oasis, de modo que evitaban ejercer demasiada presión sobre los mismos. Recolectaban frutos, semillas, tubérculos, pescaban y cazaban. La relación equilibrada con la naturaleza permitió su subsistencia durante miles de años, aproximadamente desde 10.000 años antes de la conquista de América hasta el siglo XVIII [6].

Con la llegada de los misioneros a finales del siglo XVII se produjo un gran impacto ecológico y social. Por un lado, el paisaje de los oasis se transformó notablemente por la introducción de especies animales y vegetales, y por la construcción de infraestructuras para el riego como las acequias. Por otro lado, la población indígena se redujo considerablemente por las enfermedades recién llegadas.

Los colonos laicos se establecieron en ranchos próximos a los oasis. Mientras la época misional llegaba a su fin (a principios del siglo XIX), los rancheros fueron

incorporando a la población indígena como trabajadores y como familiares a través del matrimonio. De esta unión entre dos conocimientos y modos de vida, se produjo un mestizaje cultural que tuvo como fruto una nueva cultura oasisiana [6].

En un entorno árido supieron diversificar al máximo las especies con las que satisfacían las necesidades alimenticias, de vestido y de fabricación de herramientas. Establecieron límites de explotación de recursos para no llegar a su agotamiento. Desarrollaron sistemas de cultivo estratificados para hacer un uso intensivo del suelo agrícola útil con la mínima pérdida de agua por evaporación. Y fuera del área húmeda desarrollaron la actividad ganadera complementaria.

A finales del siglo XIX y principios del XX San Miguel de Comondú era cabecera del municipio del municipio de Comondú [6]. El oasis de Comondú era en una de las zonas más florecientes de Baja California Sur. Las comunidades de San José y San Miguel de Comondú tenían buena cantidad de servicios básicos para la época (escuelas, centro de salud, correo, telégrafo, etc.), y eran un foco importante para el comercio en materia agrícola, abasteciendo a poblaciones de la región de Baja California Sur como Loreto y La Paz, e incluso de otros puntos de la República como Mazatlán y Guadalajara. Sin embargo, en 1950, comenzó exitosamente la colonización agrícola del Valle de Santo Domingo (al sur del municipio de Comondú). En este proceso de modernización y extensión agraria se estima que, en la primera década, llegaron a esta zona aproximadamente 12 mil personas atraídas por la promoción de tierras [6].

Este proceso afectó fuertemente a las comunidades de San Miguel y San José de Comondú. Situación que se agravó cuando a finales de la década de 1950 se fundó Ciudad Constitución en el Valle de Santo Domingo y se convirtió en la nueva cabecera municipal de Comondú. También la construcción de la carretera transpeninsular, entre 1960 y 1970, dejó apartadas y aisladas a estas dos comunidades de la zona de paso entre el norte y el sur de la península de Baja California. Esta carretera transpeninsular fue el resultado de la apuesta estatal por los polos de desarrollo turístico concentrados en dos ejes: Loreto-Napoló y Los Cabos [6]. Todo esto supuso una deslocalización sociopolítica. San Miguel y San José de Comondú pasaron de ser un centro importante en la vida de la Región de Baja California Sur, a ser dos poblaciones relativamente aisladas y en las que ha habido un fuerte proceso de emigración.

Horizonte espacial y temporal del modelo dinámico

El oasis de Comondú se sitúa en una cañada de 16 Km de longitud. La superficie recientemente aprovechada por su población es de 0,88 Km² [6]. Dentro de esta cañada se ubican las poblaciones de San Miguel y San José de Comondú, las huertas y el arroyo permanente que abastece de agua para riego y uso doméstico. Sin embargo, nuestro límite espacial también incluye los terrenos de uso ganadero, donde se sitúan los ranchos que son dependientes histórica y actualmente de este oasis. Por un lado, hay 36.800 hectáreas de predios privados en llanos y lugares próximos a la Sierra de la Giganta que se caracterizan por poseer lagunas y/o arroyos temporales. Por otro lado, hay 69.873 Ha pertenecientes al Ejido Comondú (tierras de uso común), las cuales consisten básicamente en cerros alrededor de estos predios. Por tanto, la superficie total del estudio es de aproximadamente 106.750 hectáreas.

El horizonte temporal escogido para el desarrollo del modelo dinámico abarca desde principios del siglo XX (1940) hasta la actualidad. De este modo se recogen los principales cambios acontecidos en el oasis de Comondú, desde su florecimiento a su posterior declive.

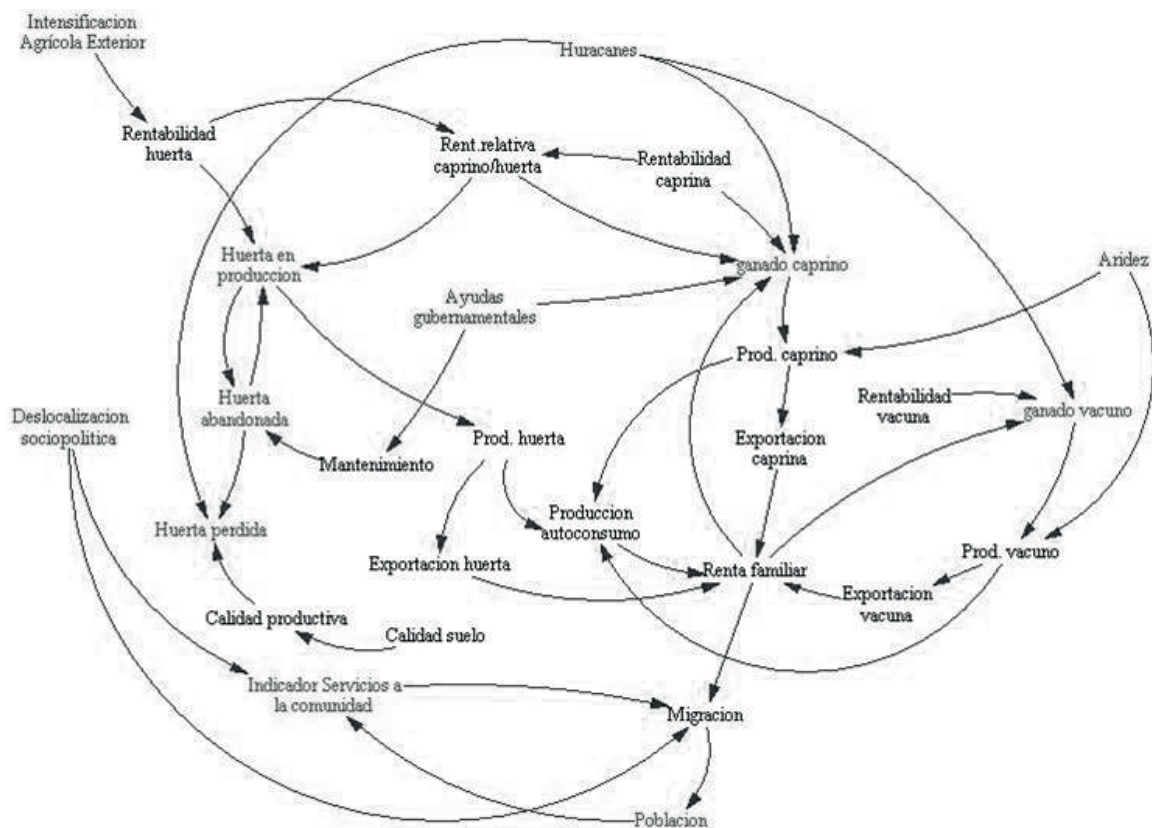
El diagrama (figura 3) muestra las variables e interrelaciones dentro del sistema del oasis de Comondú. Las variables principales que señalan el estado del sistema son: la población, los servicios a la comunidad, las huertas en producción, abandonadas y perdidas, el ganado caprino y el ganado vacuno. Como variables externas (que afectan al sistema pero no se ven influenciadas por el mismo) tenemos: los huracanes, los valores climáticos reunidos en un índice de aridez, las ayudas gubernamentales, la intensificación agrícola exterior y la deslocalización sociopolítica. El resto son variables auxiliares, que ayudarán a definir las interrelaciones y cambios en las variables principales.

Subsistema social

Uno de los reflejos de la situación de declive del oasis de Comondú es el importante proceso de despoblamiento que ha sufrido desde mediados del siglo XX, pasando de 1.006 habitantes en 1940 a 257 habitantes contabilizados en 2010 [6].

La decisión individual de emigrar de Comondú parece estar influida directamente por los servicios disponibles a la comunidad y la renta familiar.

Figura 3. Diagrama causal.



Los servicios a la comunidad son un indicador clave en el seguimiento de cambios en la comunidad. Durante el periodo de prosperidad, en Comondú se daban importantes flujos de información, personas, y productos comerciales. Los comundeños disponían de buena cantidad de servicios. Sin embargo, el continuo abandono motivado por la deslocalización sociopolítica parece haber influido en la oferta de servicios disponible para su población. Cuando el balance lleva a la decisión de migrar, la propia reducción de la población favorece que disminuyan los servicios a la comunidad. Por lo que estaríamos ante un bucle de retroalimentación positiva que se refuerza a sí mismo y conduce al abandono del oasis Comondú.

Subsistema económico productivo

La renta familiar es un indicador de los beneficios que obtienen los comundeños de la explotación y trabajo de sus tierras a través de los diferentes sectores productivos. Entre estos sectores distinguimos desde un comienzo la huerta y el ganado vacuno, y más tardíamente el ganado caprino.

No siempre el beneficio hace referencia a las ganancias que se obtienen de la comercialización de productos. En los tres sectores productivos separamos la exportación del autoconsumo, y ambos se relacionan con la renta familiar. De la exportación se obtienen ganancias económicas, pero no es nada despreciable el ahorro y ganancia no monetaria que se tiene del autoconsumo de sus productos.

Sector hortofrutícola. Las huertas son mayoritariamente policultivos en minifundios de menos de 1 ha. A principios del siglo XX, con todas las huertas en producción, los excedentes eran comercializados en otras partes de la Región de Baja California Sur y de la República Mexicana. Los productos principales eran: dátiles, higos, vino, caña de azúcar, aceituna, maíz, uvas pasas y una buena variedad de frutas. Sin embargo, la rentabilidad de la explotación hortofrutícola para la comercialización se ha visto afectada por la intensificación agrícola exterior y el progresivo aislamiento de Los Comondú.

La oferta de productos externos (sobrepoducción) afecta a los precios de los productos haciéndolos caer.

Actualmente, la mayoría de los productos de la huerta se destinan principalmente al autoabastecimiento.

Consideramos tres estados de la huerta: en producción, abandonada y perdida. En el abandono de la huerta influye el mantenimiento de la misma. Puede pasar al estado de perdida o recuperarse de nuevo al estado de producción.

Con "mantenimiento" no solo nos referimos a la parcela, sino también a las infraestructuras asociadas, como las acequias. Se relaciona con las ayudas dispensadas por el Gobierno para tal fin y con la rentabilidad relativa entre la huerta y el ganado caprino como veremos en la descripción del sector ganadero.

La falta de mantenimiento podría afectar a la calidad productiva del suelo (por ejemplo por salinización), y junto a la acción devastadora de los huracanes, implicaría una pérdida de huerta.

Sector ganadero. Los rancheros de Los Comondú han utilizado el ganado vacuno para la cría, consumo y venta de carne principalmente. Sin embargo, la rentabilidad de este tipo de ganado ha ido en descenso. La capacidad de carga (en términos de disponibilidad de pastos y abrevaderos) es bastante limitada si consideramos la aridez característica de la región. Esta capacidad se satura fácilmente con el crecimiento del ganado vacuno. Las fluctuaciones ambientales (especialmente los periodos de sequía) encarecen el mantenimiento de las reses, al necesitar de piensos, concentrados y/o forrajes para poder alimentar los rebaños. Todo ello ha favorecido la intervención del Estado mediante ayudas para la introducción del ganado caprino en Baja California Sur. La elección del ganado caprino se explica por su mayor resistencia a las condiciones de aridez y su rentabilidad (por la venta de carne y queso especialmente). Sin embargo, los rebaños de cabras pueden ser más vulnerables a los eventos climáticos extremos.

La mayor rentabilidad que ofrece el ganado caprino puede estar influyendo en la rentabilidad de la huerta, favoreciendo el abandono de ésta última. La dedicación que requiere el cuidado del ganado caprino parece ser poco compatible con el mantenimiento óptimo de la huerta para uso comercial.

Factores externos

Control climático. La porción sur de la península de Baja California se caracteriza por un clima muy seco o

desértico y semiseco en altitudes menores a los 1000 m. Para el caso específico del oasis de Comondú, la precipitación media anual es de 175 mm, la temperatura media anual es de 23°C, con una máxima de 36°C y una mínima de 10°C [6].

Las precipitaciones caen de manera torrencial, asociadas principalmente a la época de formación de ciclones tropicales en el Pacífico (periodo comprendido entre el 15 de mayo y el 30 de noviembre). En gran parte del Estado la evapotranspiración potencial supera a la precipitación. Solo existe una mayor recarga en años con alta precipitación [6].

La dinámica del sistema de Comondú se encuentra en gran medida bajo el control de las variables externas climáticas. Los huracanes y las precipitaciones afectan a los sectores productivos, y por tanto, a la renta familiar, tanto de manera positiva como negativa. Para la modelización, por un lado emplearemos la relación entre la precipitación y la producción primaria a través de un índice de aridez. Por otro lado, los huracanes serán eventos catastróficos que afecten negativamente al sector agrícola y ganadero.

Externalidades sociales y económicas. La intensificación agraria externa hace referencia a la producción intensiva del Valle de Santo Domingo. La fuerte competencia que ejerce con la producción tradicional del oasis de Comondú afecta directamente a la rentabilidad de ésta. Posiblemente sea de las principales causas por las que la mayor parte de la producción hortofrutícola se destine actualmente para autoabastecimiento.

Por otro lado, tenemos las ayudas gubernamentales que también afectan a los sectores productivos. Por ejemplo, por promocionar la explotación del ganado caprino, o por ayudas al mantenimiento de los campos de cultivo e infraestructuras asociadas.

La deslocalización sociopolítica representa el efecto relativo que ejercen los eventos ordenados cronológicamente de la construcción de la carretera transpeninsular y el cambio de la municipalidad sobre los servicios a la comunidad y la migración.

CONCLUSIONES

Un modelo es una simplificación de la realidad. Su elaboración persigue un objetivo y se focaliza en la iden-

tificación de un problema. Es por ello que nuestro modelo no abarca toda la complejidad del agroecosistema del oasis de Comondú. Se centra principalmente en el proceso de despoblamiento y en todos los factores que parecen haber influido.

La limitada rentabilidad de las actividades agropecuarias tradicionales del oasis limita la oferta de empleo interno y afecta a la renta familiar disponible, motivos que pueden empujar a los jóvenes a emigrar a otros lugares. Igual sucede al considerar los servicios de los que dispone la comunidad como indicador de bienestar. La disminución de los mismos influye en la toma de decisión de emigrar. Aquí hemos identificado un bucle de retroalimentación positiva (tendencia que se auto-refuerza a sí misma) entre la emigración y la cantidad de servicios a la comunidad. Cuánta más emigración, menor cantidad de servicios a la comunidad, cuántos menos servicios a la comunidad, mayor propensión a emigrar.

El sistema socioambiental del oasis de Comondú es altamente vulnerable a factores externos. Si bien es cierto que los factores climáticos tienen una influencia directa sobre el sistema, no debemos olvidar que éstos han estado siempre. Son las limitaciones que imponen estos factores climáticos junto a las externalidades de carácter social y económico (la intensificación agraria externa, la deslocalización sociopolítica y las ayudas gubernamentales) las que parecen haber modificado fuertemente la dinámica de este sistema socioambiental. De ser un sistema básicamente en equilibrio ha pasado a ser un sistema que se dirige al colapso.

La presente investigación es el punto de partida para efectuar la recopilación de las series de datos de las variables de interés. Los siguientes pasos en la modelización incluyen la recopilación de series históricas, la formulación matemática de las relaciones entre componentes del sistema, la calibración del comportamiento del modelo en comparación con las series históricas y la validación.

Una vez el modelo cuantitativo esté validado, y la hipótesis de su estructura y comportamiento sea correcta se podrá proceder a evaluar la sostenibilidad del sistema a través del modelo de valoración. Los resultados se presentarán a los agentes locales para crear y explorar escenarios futuros de gestión en la línea de la sustentabilidad.

El enfoque de evaluación integrada de sustentabilidad con modelos dinámicos abarca la complejidad de los sistemas bajo estudio y su carácter dinámico, pudiendo hacer previsiones a medio y largo plazo. Integrar los indicadores de sustentabilidad como componentes del propio modelo permite hacerse preguntas sobre qué aspectos son especialmente relevantes para la sustentabilidad del sistema, cómo evolucionan estos indicadores con el paso del tiempo, qué les afecta, dónde debemos centrar los esfuerzos para fortalecer al sistema y emprender acciones decididas que estén orientadas hacia la sustentabilidad. Todo ello apoyado en un profundo conocimiento de la estructura y comportamiento de nuestro sistema de estudio.

Entre las ventajas de este enfoque encontramos que se puede enriquecer mediante técnicas participativas, y permite simular y evaluar el efecto de políticas y acciones futuras en el sistema antes de ponerlas en práctica.

REFERENCIAS

- [1] UNITED NATIONS ORGANIZATION. Global Sustainable Development Report – Executive Summary: Building the Common Future We Want. New York (USA): United Nations Department of Economic and Social Affairs, Division for Sustainable Development, 2013, 19 p.
- [2] ASTIER, M., GARCÍA-BARRIOS, L., GALVÁN-MIYOSHI, Y., GONZÁLEZ-ESQUIVEL, C.E. and MASERA, O.R. Assessing the Sustainability of Small Farmer Natural Resource Management Systems. A Critical Analysis of the MESMIS Program (1995-2010). *Ecology and Society*, 17(3), 2012, 25 p.
- [3] ANDERIES, J.M., FOLKE, C., WALKER, B. and OSTROM, E. Aligning Key concepts for Global Change Policy: Robustness, Resilience, and Sustainability. *Ecology and Society*, 18(2), 2013, 8 p.
- [4] SPANGERBERG, J.H. Environmental space and the prism of sustainability: frameworks for indicators measuring sustainable development. *Ecological Indicators*, 2, 2002, p. 295-309.
- [5] MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J., ESTEVE, M.A., CARREÑO, F., MIÑANO, J., BAÑOS, I., TERRER, C., GIMÉNEZ, A. y TENZA-PERAL, A. Proyecto RB DIGITAL. Herramienta Avanzada para la Gestión Sostenible y el Desarrollo del Sistema de Infor-

- mación y Participación en las Reservas de la Biosfera [online]. 2012. Disponible: http://www.um.es/oserm/Rb_digital2.html, [Citado 11 de Mayo de 2012].
- [6] CARIÑO, M., BRECEDA, A., ORTEGA, A. y CASTORENA, L. Evocando el edén. Conocimiento, valoración y problemática del oasis de Los Comondú. 1 ed. Barcelona (España): CONACYT, Icaria Editorial, 2013, 544 p.
- [7] JANSSEN, M.A. and ANDERIES, J.M. Robustness trade-offs in social-ecological systems. *International Journal of the Commons*, 1(1), 2007, p. 43-65.
- [8] URZELAI, A., OLAZÁBAL, M., GARCÍA, G., SANTACOLOMA, O., HERRANZ, K., ABAJO, B., ACERO, J.A., FELIU, E. y ASPURU, I. Modelización de un sistema territorial "urbano-rural" para la evaluación de su sostenibilidad. Aplicación a una zona representativa del País Vasco. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 1, 2006, p. 159-172.
- [9] JORGENSEN, S.E. and BENDORICCHIO, G. *Fundamentals of Ecological Modelling*. 3 ed. Oxford (United Kingdom); Elsevier, 2001, 530 p.
- [10] MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J., ESTEVE-SELMA, M.A., BAÑOS-GONZÁLEZ, I., CARREÑO, F. and MORENO, A. Sustainability of Mediterranean irrigated agro-landscapes. *Ecological Modelling*, 248, 2013, p. 11-19.
- [11] VAN BERKEL, D.B., and VERBURG, P.H. Combining exploratory scenarios and participatory backcasting: using an agent-based model in participatory policy design for a multi-functional landscape. *Landscape Ecology in Practice*, 27, 2012, p. 641-658.
- [12] GRAY, S., CHAN, A., CLARK, D., and JORDAN, R. Modeling the integration of stakeholder knowledge diversity in social-ecological decision-making: Benefits and limitations to knowledge diversity. *Ecological Modelling*, 229, 2012, p. 88-96.