

# Claves de sustentabilidad de agroecosistemas tradicionales basados en regadíos y ganadería extensiva en oasis de Baja California (México)

Alicia Tenza<sup>1,2</sup>, Aurora Breceda<sup>2</sup>, Micheline Cariño<sup>3</sup>, Julia Martínez-Fernández<sup>1,4</sup>, Andrés Giménez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Miguel Hernández, <sup>2</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Baja California Sur, <sup>4</sup>Universidad de Murcia

[atenza@umh.es](mailto:atenza@umh.es), [abreceda@cibnor.mx](mailto:abreceda@cibnor.mx), [marthamichelinecarino@gmail.com](mailto:marthamichelinecarino@gmail.com), [juliamf@um.es](mailto:juliamf@um.es), [agimenez@umh.es](mailto:agimenez@umh.es)

**Resumen.** Los oasis son los agroecosistemas tradicionales de la península de Baja California. Fueron el eje central de su desarrollo socioeconómico y cultural hasta la segunda mitad del siglo XX, cuando procesos de desarrollo regional los marginalizaron. Bajo el enfoque teórico y metodológico de la Dinámica de Sistemas hemos realizado un estudio multidisciplinario en el que integramos el conocimiento ecológico tradicional y el conocimiento científico para construir un modelo de simulación dinámica sobre el caso específico del oasis de Los Comondú, cuyo fuerte proceso de despoblamiento amenaza con colapsar este agroecosistema tradicional con más de 300 años de historia. El modelo revela que el acceso a servicios y la oferta de empleo local son factores clave en el proceso de despoblamiento. El cambio de un sistema agrícola hacia un sistema fundamentalmente ganadero ha hecho que el sistema sea más vulnerable a las sequías y huracanes, que son frecuentes en la región. Este modelo puede ser utilizado como herramienta para apoyar procesos de toma de decisión en las comunidades locales. Además, su simplificación y generalización puede servir como base para el estudio de otros oasis sudcalifornianos u otros agroecosistemas tradicionales con características similares.

**Palabras clave:** Dinámica de Sistemas; Modelos dinámicos; Comondú; Paisajes bioculturales; Conocimiento ecológico tradicional

**Abstract.** The oases are the traditional agro-ecosystems in the Baja California Peninsula. They were the cornerstones of its socio economic and cultural development until the second half of the twentieth century, when regional development process marginalized them. Under the theoretical and methodological approach of System Dynamics we present a multidisciplinary study that integrate traditional ecological knowledge and scientific knowledge to build a dynamic simulation model about the specific case of the oasis of Comondú, whose strong depopulation process can collapse this traditional agro-ecosystem with more than 300 years of history. The model reveals that the access to services and the supply of local employment are key factors in the process of depopulation. The change from agricultural to a livestock system has made the whole system more vulnerable to droughts and hurricanes, which are frequent disturbances in this region. This model can be used as a tool to support decision-making processes in local communities. Moreover, simplification and generalization also can serve as a basis for the study of other oasis of Baja California Peninsula or other traditional agro-ecosystems with similar conditions.

**Keywords:** System Dynamics; Dynamic models; Comondú; Bio-cultural landscapes; Traditional ecological knowledge

## 1 Introducción

Los oasis son agroecosistemas tradicionales dispersos a lo largo del cinturón árido del planeta. Son paisajes bioculturales esculpidos por las sociedades de los desiertos que, ante la disponibilidad de agua en un entorno árido, han desarrollado exitosamente una agricultura

de regadío caracterizada por el aprovechamiento integral del agua, el suelo fértil y la diversidad biótica. La persistencia de estos agroecosistemas hasta nuestros días es una señal sobre el éxito en sus modelos de uso y aprovechamiento del territorio, de reproducción social, y de que la relación entre sociedad y naturaleza, por difícil que pueda parecer en la actualidad, puede ser sustentable en el tiempo.

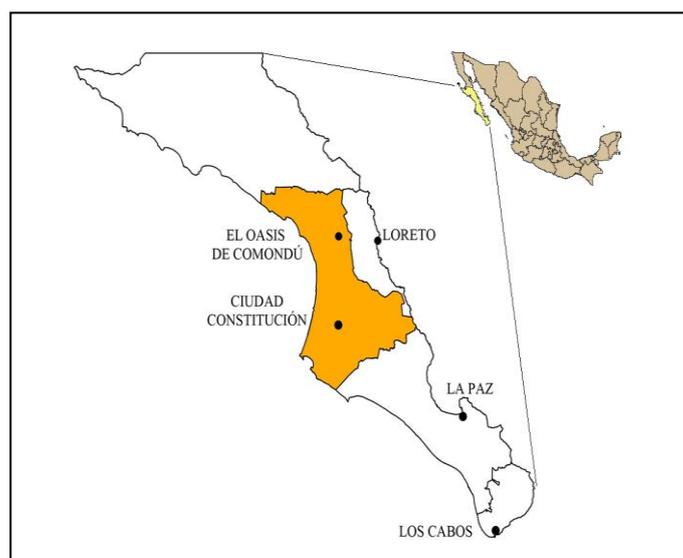
En la península de Baja California se han identificado un total de 184 humedales, 93% localizados en el estado de Baja California Sur (Maya, et al. 1997). Desde el punto de vista biológico, son sitios de gran riqueza pues la permanencia de agua en regiones caracterizadas por la aridez, los hace ser sustento y refugio de flora y fauna, son reservorios de carbono por contener una de las biomásas forestales más densas, y tienen una gran importancia en el control de inundaciones, así como en la retención y exportación de sedimentos y nutrientes. Estos humedales fueron enclaves fundamentales para las poblaciones indígenas cazadores-recolectores-pescadores seminómadas que utilizaban estos espacios como campamentos centrales en sus recorridos de costa a costa a través de la península (Cariño, 2001). Del mismo modo, fueron los espacios escogidos por los misioneros jesuitas a finales del siglo XVII para el establecimiento de sus misiones y la aculturación de la población indígena. La construcción de los oasis por los jesuitas y sus colonos, fue para la península de Baja California, una de las primeras y más drásticas transformaciones de sus ecosistemas. Modificaron la topografía convirtiendo los lechos arenosos y rocosos de los arroyos y cañones en terrazas de cultivo. Alteraron la hidrografía al canalizar el agua para el riego y construir embalses. Trastornaron la biota debido a la introducción de numerosas especies de plantas –entre ellas las palmeras datileras- y animales domésticos, provenientes de muy diversas regiones del mundo. A partir del siglo XVIII se conformó en la península un paisaje cultural característico heredero, por una parte de los oasis del cinturón árido del viejo mundo (del Levante español, el Magreb, el Medio Oriente, el Norte de India o el oeste de China), y por otra de las propias singularidades del desierto bajacaliforniano.

La cultura ranchera sudcaliforniana, heredera y centinela de los oasis sudcalifornianos, es fruto de la unión entre la cultura indígena bajacaliforniana y la cultura occidental mediterránea, y se caracteriza por la austeridad, la autosuficiencia y el aprovechamiento variado e integral de la diversidad biótica (Cariño, 2001).

Los oasis, agroecosistemas tradicionales de Baja California Sur, fueron los ejes centrales del desarrollo socioeconómico y cultural del estado. Caracterizados por la riqueza de sus regadíos tradicionales y la complementariedad con la ganadería extensiva en el secano circundante para el caso de los oasis serranos, y la complementariedad con la pesca para el caso de los oasis costeros. Eran los principales proveedores de materias primas a los núcleos urbanos de la región, e incluso exportaban sus productos a otros puntos de la república mexicana. Sin embargo, desde mediados del siglo XX, la modernización de la economía de Baja California Sur y su integración a la globalización, ha descentralizado la importancia de estos agroecosistemas. La expansión de la agricultura de carácter industrial, con la imposición de la Revolución Verde (desde 1950) en los valles y la producción agro-exportadora en invernaderos, ha relegado a un segundo plano y marginalizado a la agricultura de regadío tradicional.

Los procesos de desarrollo regional han tenido efectos diversos sobre los oasis de Baja California Sur. Sin embargo, un proceso generalizado ha sido la desagrarización, el abandono de las actividades primarias. Los oasis mejor conectados por caminos y carreteras con otros núcleos urbanos y centros turísticos han vivido una diversificación económica, con un crecimiento importante del sector terciario. En estos casos es posible que la población haya

permanecido más o menos estable, o incluso haya aumentado. Sin embargo, en estos oasis, como es el caso del oasis de San José del Cabo, ha habido pérdidas irreversibles de suelo fértil por la expansión de los desarrollos urbano-turísticos, y contaminación de los cuerpos de agua. Los oasis de Todos Santos y Mulegé también han vivido una situación similar, pero con una urbanización menos masiva. Por otro lado, están aquellos otros oasis que quedaron más aislados del proceso de desarrollo regional, como es el caso del oasis de Los Comondú. Este es uno de los oasis más representativos y mejor conservados de Baja California Sur. Se ubica en la parte media de la Sierra La Giganta, dentro del municipio de Comondú, aproximadamente a 130 km al norte de la actual cabecera municipal, Ciudad Constitución (Figura 1).



**Fig. 1.** Ubicación del oasis de Comondú y principales núcleos urbanos de B.C.S.

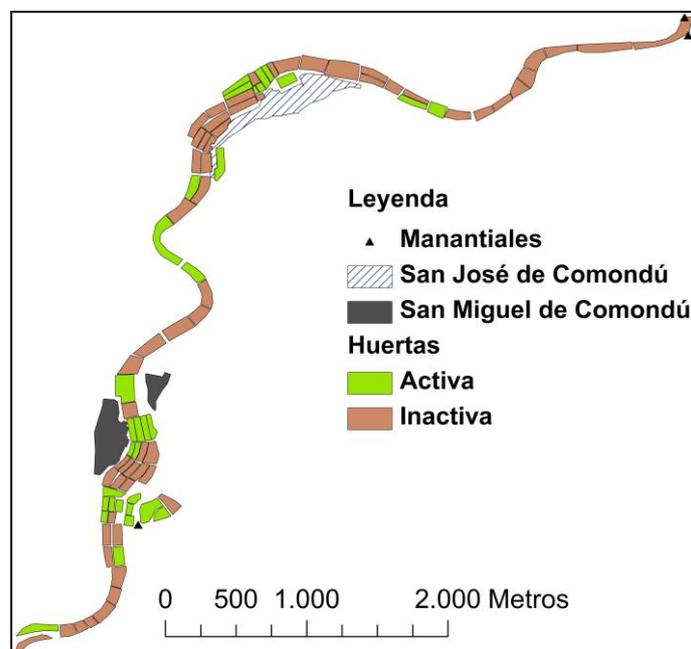
Es sitio Ramsar desde 2008 y actualmente forma parte de una propuesta para la creación de una nueva Reserva de la Biosfera. Históricamente, la principal actividad económica y productiva ha sido la agricultura de regadío tradicional desarrollada en huertas, pero manteniendo un estrecho vínculo con la ganadería extensiva desarrollada en las áreas de secano circundantes, donde se encuentran lagunas temporales, arroyos y pozas. A diferencia de otros oasis, como los costeros, este oasis ha permanecido al margen de inversiones para el desarrollo de complejos turísticos y residencias secundarias. Hasta el año 2011, el oasis de Comondú estaba pobremente conectado con la carretera transpeninsular que une los núcleos urbanos más importantes de la entidad, lo que influye en la economía y dinámica poblacional de las áreas rurales (Collantes, 2007). Quizá uno de los frutos de ese aislamiento haya sido la buena conservación de la diversidad biótica de este agroecosistema basado en la agricultura de regadío y la ganadería extensiva. Sin embargo, el deterioro del tejido social, el quiebre de las instituciones locales, y el fuerte éxodo rural que ha vivido en los últimos 70 años amenazan con colapsar este agroecosistema tradicional con más de 300 años de historia (Tenza et al., 2013).

Bajo la premisa de que sólo con un profundo conocimiento sobre la estructura y la dinámica de un sistema es posible resolver eficazmente sus problemas (Forrester, 1961; Jørgensen y Bendoricchio, 2001) hemos realizado un estudio multidisciplinario en el que integramos

el conocimiento ecológico tradicional rescatado a través de técnicas de investigación social, y el conocimiento científico a través de un panel de expertos para construir un modelo de simulación dinámica (COMONDU). Este modelo simula el comportamiento histórico de las principales variables del agroecosistema del oasis de Comondú relacionadas con el proceso de éxodo rural. En este capítulo describiremos las principales características del regadío tradicional y la ganadería extensiva en el oasis de Comondú, para finalizar con la presentación de los resultados del modelo COMONDU, el análisis de la dinámica histórica de este oasis y las perspectivas futuras de la aplicación de este modelo a procesos de toma de decisión en las comunidades locales.

## 2 Características del sistema de regadío del oasis de Los Comondú

La zona húmeda, donde se desarrolla el regadío tradicional y se emplazan las poblaciones de San Miguel y San José de Comondú, está dentro de una cañada cuya apertura varía a lo largo de su recorrido aproximadamente entre 50-500 metros, y tiene una longitud de 16 km aunque sólo 8 de ellos han sido recientemente aprovechados por la población (Figura 2).



**Fig. 2.** Esquema de la cañada del oasis: manantiales, pueblos y huertas.

La superficie ligada a la producción hortofrutícola comprende aproximadamente 80 hectáreas. El número de parcelas en las que se ha dividido esta superficie ha variado con el tiempo incrementándose a causa de la herencia de padres a hijos y división entre hermanos. Se han contabilizado alrededor de 90 parcelas pertenecientes a 70 propietarios. La superficie por parcela varía, pero en su gran mayoría son minifundios de menos de 1 hectárea, con un máximo de 3 hectáreas y un mínimo de 0.5 (Tenza et al., 2013a). La cañada del oasis está recorrida por el arroyo natural que reúne el agua emanada por varios manantiales, los principales se ubican en la zona más alta del cañón (Figura 2). Este arroyo está canalizado y se le conoce comúnmente como "acequia madre". Además de esta canalización existen otras acequias o "regaderas" más pequeñas y de carácter secundario que ayudan a distribuir el agua por las parcelas, como el llamado "canal de la mesa" o el "canal del corral". Las acequias son mayoritariamente de tierra, sin embargo hay tramos cementados

tanto en San Miguel como en San José de Comondú. El sistema de riego es el conocido "riego a manta" o por inundación. El agua se desplaza por gravedad a través de las acequias e inunda completamente la parcela que tiene el turno de riego. El control del agua se hace con tablones que bloquean o modulan su paso.

El riego en las huertas del oasis de Los Comondú estaba organizado a través de una institución local creada por los mismos agricultores para tal fin. Esta institución era semejante a las conocidas *Comunidades de Regantes* del levante español (Región de Murcia y Comunidad Valenciana), las cuales son herederas de mecanismos institucionales que se remontan a la ocupación árabe en la península ibérica o incluso anterior (Giménez y Palerm, 2007). Este tipo de institución se caracteriza por estar formada por una *Junta General* o *Asamblea*, que la constituyen el total de regantes de la comunidad, la *Junta de Gobierno*, que es la representación escogida por votación en Asamblea y se encarga de la ejecución de los acuerdos y decisiones tomadas, y un *Jurado de Riegos*, que es el órgano encargado de vigilar que se cumplan los acuerdos, resolver las disputas entre regantes y aplicar las sanciones derivadas de infracciones (Giménez y Palerm, 2007).

En Los Comondú había una *Junta de Riego* para San José de Comondú y otra para San Miguel. En ambas se escogía una mesa directiva conformada por las figuras de presidente, secretario y tesorero. Otra de las figuras escogida por la *Junta* era la del *Juez de Aguas*. El *Juez de Aguas* era una persona que trabajaba dando el turno del agua entre los regantes y vigilaba que se respetaran los turnos, se hiciera la limpieza de los canales, etc. Cada regante tenía la obligación de limpiar el tramo de los canales que pasaran por su parcela. La *Asamblea* pagaba el sueldo del *Juez de Aguas*. Mantenían horarios diferenciados para el riego entre San José y San Miguel, mientras que en San José se regaba por el día, en San Miguel se regaba por la noche (Tenza et al., 2013a).

La desestructuración de las instituciones locales del riego en este oasis va ligada al abandono progresivo de las actividades productivas en las huertas. El mantenimiento de las infraestructuras físicas y el de la propia institución requería del esfuerzo colectivo y del pago de unos costes fijos. El continuo abandono de la actividad hortícola y la emigración de los propietarios desde la década de 1950 debió reducir el número de participantes en las Juntas de Riego, y esto a su vez debió incrementar el costo individual (en tiempo, esfuerzo y dinero) de mantener estas instituciones locales del riego hasta que se hizo insostenible. Esto ha ocurrido en momentos diferentes para las comunidades de San Miguel y San José de Comondú. Mientras que en San José dejó de ser funcional en la década de 1970, en San Miguel la institución siguió estando operativa hasta 2004. Posiblemente debido a un mayor número de huertas en producción de San Miguel de Comondú frente a la situación de San José.

En la actualidad el agricultor que quiere regar su huerta debe pedir permiso en la Subdelegación de su comunidad. De esta manera se pueden establecer turnos. Sin embargo, este sistema poco organizado tiene sus problemas, incluso en la actual situación de baja demanda de agua para riego. Un agricultor puede estar regando en San Miguel y de repente dejar de recibir el agua porque otro agricultor en San José (ubicado cuenca arriba), que no sabía que estaba ocupada el agua, ha decidido regar su huerta.

La limpieza de canales, por otro lado, se hace esporádicamente a raíz de una circular que el Subdelegado de cada comunidad reparte entre los vecinos. Por lo general, esto se hace antes de comenzar el periodo de huracanes en el Pacífico (del 15 de mayo al 30 de noviembre) por el riesgo de inundaciones. Sin embargo, cada vez es más frecuente el incumpli-

miento de esta tarea, incluyendo a los propios representantes, y la infracción ya no es penalizada de ningún modo.

En los últimos años han entrado diversos programas gubernamentales con diferentes finalidades, uno de estos es el Programa de Empleo Temporal (PET) que tiene como objeto la limpieza de huertas y acequias. Por lo general, se contrata alrededor de 20 personas para limpiar un tramo del oasis, el cual no suele superar los 4 km, y no siempre se abarca el ancho total del cañón. Es una ayuda externa muy limitada en el tiempo y que genera una relación de dependencia, volviendo perezoso al sistema para resolver estas cuestiones internamente.

El abandono de las tareas de limpieza y mantenimiento induce a la acumulación abundante de restos vegetales en los canales de riego y en las huertas. Esta acumulación agrava el riesgo de inundaciones e incendios, sucesos que ya han vivido los comundeños en las últimas décadas. Los descuidos durante la limpia de parcelas agrícolas con quemas controladas y la quema de basuras ha sido origen de incendios (como el que ocurrió a mitad de la década de 1980, que es el más fuerte que recuerdan, o el último ocurrido en 2004). Por otro lado, las lluvias torrenciales asociadas al paso de huracanes pueden tener un efecto más devastador si hay más materia de arrastre y los canales naturales y artificiales están taponados (como sucedió tras el paso del huracán Jimena en 2009).

Otro de los efectos observados tras el abandono de la actividad productiva de las tierras es la acumulación de sales en los suelos. Contabilizamos un total de 11 parcelas (el 12% del total) con costras de salitre en la superficie (Tenza et al., 2013a). La falta de limpieza de los canales de riego y el abandono de prácticas agrícolas tradicionales como la creación de “sangrías” (zanjas por las que se escurren las aguas sobrantes del riego para ser devueltas a las acequias principales) favorecen esa salinización de suelos.

### **3 Características del sistema ganadero en el oasis de Los Comondú**

Históricamente la ganadería era fundamentalmente bovina y era una actividad complementaria a la actividad hortícola. Esta actividad estaba mayoritariamente circunscrita a los predios privados ubicados en llanos y terrenos poco accidentados con disponibilidad temporal de agua (Tenza et al., 2013b). Sin embargo, con el decaimiento de la producción agrícola tradicional, a partir de la década de 1950, la ganadería se ha convertido en la principal actividad económica y productiva. Otro factor importante que impulsó todavía más el cambio de este sistema tradicional de agrícola a ganadero fue la formación del ejido Comondú (a finales de la década de 1960), la entrega de tierras para uso común. Dado que la mayor parte del área del secano con relieves más llanos y con acceso a agua (por pozas, lagunas temporales o arroyos) estaban en manos de propiedades privadas, las tierras comunales se establecieron alrededor, en cerros y terrenos más accidentados, poco favorables para el ganado bovino (Tenza et al., 2013b). La ganadería caprina, que antes de los ejidos estaba comenzando expandirse, se convirtió en la actividad principal del oasis, incrementando el número de ranchos activos y la carga ganadera.

El ejido Comondú no está parcelado de modo que cada ejidatario (miembro del ejido) no tiene una asignación fija a un determinado espacio (Tenza et al., 2013b). Esta característica es especialmente deseable dada la naturaleza árida de la región. Los ejidatarios establecen acuerdos en asamblea para el uso de los terrenos y para la práctica de ocupación temporal e

itinerante de ranchos. Del mismo modo, los ejidatarios y los rancheros de predios privados también alcanzan acuerdos para el uso de los abrevaderos temporales.

El sistema ganadero del oasis de Los Comondú es similar a otros sistemas de ganadería del noroeste de México, como el descrito para Sonora (Bravo et al., 2010; Pérez-López et al., 2003), especialmente en el caso de ganaderos de medios y bajos recursos. En Los Comondú no existe al día de hoy explotación ganadera de carácter empresarial, sino que se trata de explotaciones familiares.

La actividad ganadera es fuertemente dependiente de las lluvias. Las regiones incluidas en el desierto sonorense (parte del Estado de Sonora, California, Arizona y la Península de Baja California) tienen principalmente dos posibles periodos de lluvia al año. Entre los meses de mayo a noviembre (coincidiendo con la época de huracanes en el Pacífico) se concentra el mayor porcentaje de lluvias. El segundo periodo, entre los meses de diciembre y enero, es conocido comúnmente como lluvias equipatas. Éstas tienen importancia ya que anteceden a los meses más secos del año (Bravo et al., 2010). En el caso concreto de Los Comondú, cerca del 70% de la precipitación anual se concentra en la época de huracanes, mientras que el periodo de equipatas representa el 21% de la precipitación anual. A razón de esta estacionalidad, los ganaderos planifican las épocas de parición del ganado.

Los mecanismos adaptativos que permiten a los rancheros superar las sequías y recuperar al ganado tras las pérdidas por huracanes y/o depredación se basan principalmente en el crecimiento relativamente rápido del ganado caprino, las diferentes estrategias de venta de animales y la ocupación temporal e itinerante de los ranchos con abrevaderos (Tenza et al., 2013b). Las sequías pueden llegar a reducir en un año el número de cabras (pérdidas de hasta el 62%) y de reses por rebaño (pérdidas de hasta el 40%). El efecto de los huracanes sobre el ganado depende en gran medida de la ubicación del rancho y de la intensidad del temporal. El huracán Jimena (2009) ha sido el que ha tenido un mayor grado de afección entre los ranchos entrevistados, con pérdidas entre el 2 y el 67 % de las cabras por rebaño. La depredación por pumas y coyotes pueden hacer perder a un ranchero el 20% de sus cabras y/o el 10% de sus reses en un año, siendo más común en los años secos.

#### **4 Modelo COMONDU: análisis de la dinámica histórica del oasis**

En los últimos años, el desarrollo de la simulación computacional ha permitido disponer de potentes herramientas para abordar rigurosamente la dinámica de sistemas complejos. Entre los enfoques metodológicos empleados para el estudio del funcionamiento de sistemas complejos se han revelado especialmente interesantes y fructíferos los modelos de simulación dinámica (Forrester, 1961; Roberts et al., 1983; Vennix, 1996). El resultado de estos modelos son simulaciones que muestran el comportamiento de los elementos o variables del modelo en el tiempo (Forrester, 1961; Roberts et al., 1983; Vennix, 1996; Martínez-Fernández, et al., 2000; Martínez-Fernández, et al., 2013). El análisis de la dinámica del modelo permite identificar, entre otros, los efectos sinérgicos, y qué elementos o relaciones dentro del sistema tienen un mayor peso en la dinámica general. Además de probar las hipótesis de estructura y funcionamiento de un sistema, los modelos de simulación dinámica permiten definir, construir y explorar escenarios para el estudio de los efectos sobre el sistema de políticas y opciones de gestión alternativas.

El proceso de modelización es un proceso iterativo que mejora la comprensión sobre el sistema de estudio, e inicia con la conceptualización del sistema de estudio y su problemá-

tica específica (Tenza et al., 2013b). En esta etapa se identifican las principales variables del sistema relacionadas con el problema de estudio y sus interrelaciones. Después se procede a la recopilación de las series históricas de datos de estas variables. En una segunda etapa, las relaciones entre variables que en el modelo conceptual eran causales, pasan a ser definidas matemáticamente, mediante relaciones teóricas (p.ej.: el crecimiento vegetativo de una población, los efectos de denso-dependencia, etc.) y empíricas (p.ej.: el efecto de la oferta de empleo local sobre la tasa de emigración, el efecto de las sequías sobre la venta de ganado, etc.). Una vez que todas las relaciones entre variables y parámetros están definidas, el modelo puede ser simulado. Para verificar la estructura del modelo, comprobar su robustez y evaluar el ajuste entre los datos observados y simulados hay que someter al modelo a una serie de pruebas. Entre los instrumentos más comunes para verificar los modelos de simulación dinámica encontramos las pruebas de coherencia dimensional, la simulación más allá de los límites temporales del modelo, el análisis de sensibilidad local y general, las pruebas de condiciones extremas y los estadísticos de bondad de ajuste (Sterman, 1984; Barlas, 1996). Superadas las pruebas de verificación, los modelos de simulación dinámica están preparados para fines más aplicados como la exploración de escenarios, y la evaluación de políticas y medidas de gestión alternativas.

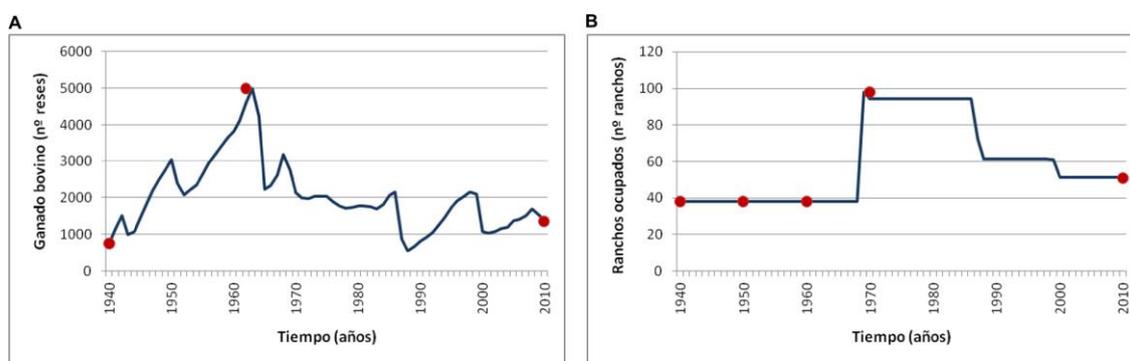
Para la conceptualización del problema de estudio, la recopilación de datos históricos y parametrización del modelo COMONDU, realizamos cuatro estancias entre 2010-2012, con una duración que varió entre 4 y 30 días cada una. Obtuvimos series de datos de variables de interés para el modelo en dependencias gubernamentales, como los datos de clima, población y precios de mercado. Sin embargo, la reducida escala del estudio dificultó la recolección de datos sobre las actividades productivas locales, como la superficie de regadío activa y el volumen de producción, y otros parámetros necesarios como la venta de ganado, la producción de queso, y la mano de obra necesaria en cada sector productivo, entre otros. Un inventario de los usos del suelo nos permitió conocer la superficie de regadío activa, y la entrevista a informantes clave nos dio información sobre su evolución histórica. Para mejorar nuestra comprensión sobre la historia del oasis y enfrentar la escasez de datos estadísticos oficiales hicimos observación participante, un total de 52 entrevistas en profundidad a 43 entrevistados. Esto representa al 55% de las unidades familiares del censo de población y vivienda de 2010. Así como dos encuestas, una general sobre las condiciones de vida en el oasis con 55 encuestados, y otra sobre las actividades económicas con 25 encuestados. La información cualitativa y semi-cuantitativa de las entrevistas fue organizada y clasificada siguiendo la técnica de análisis de contenido (Miles y Huberman, 1994), según perteneciera a los siguientes temas: regadío, ganado, vida en el oasis, expectativas futuras, emigración, abandono de ranchos, y efectos de sequías y huracanes sobre el ganado. La riqueza del conocimiento ecológico tradicional (Berkes, 1993; Berkes et al., 2000) no sólo ha servido para mejorar nuestro conocimiento sobre el comportamiento del sistema, sino que también nos ha permitido obtener datos cuantitativos y cualitativos para definir algunos de los parámetros del modelo COMONDU y construir las series de referencia de sus variables principales para poderlo calibrar y validar.

El modelo de simulación dinámica COMONDU (Tenza et al., 2014; Tenza et al., en revisión) contiene las principales variables del sistema relacionadas con el proceso de despoblamiento (p.ej.: la población, la superficie de regadío en producción, el número de ranchos ocupados, las cabezas de ganado caprino y bovino), las variables externas que afectan al sistema pero no se ven afectadas por él (p.ej.: la precipitación, los precios de mercado, los huracanes, entre otras), y aquellas otras variables auxiliares y parámetros que ayudan a definir los cambios en las variables principales (Figura 3).

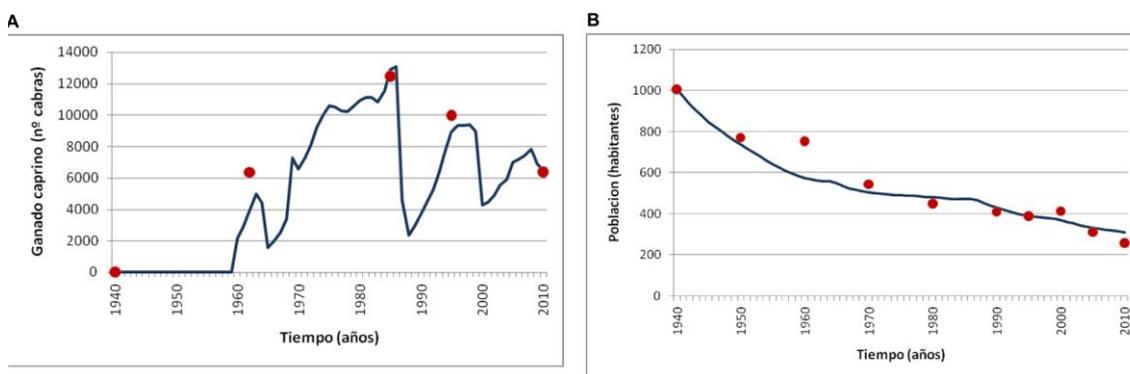


damente a las producciones agrícolas tradicionales de los oasis que quedaron sin acceso a un mercado que cambió su orientación fundamentalmente hacia la exportación.

La merma de rentabilidad de la producción agrícola del oasis favoreció el abandono paulatino de esta actividad (Figura 4B). Con la caída de la principal actividad económica y con la reducción consecuente de la oferta de empleo local se incrementó la emigración, y la ganadería fue ganando importancia (Figura 5A), inicialmente con una fuerte composición de ganado vacuno, pero a finales de la década de 1950 se introdujo la ganadería caprina -dado el éxito que ésta había tenido en otros oasis cercanos como La Purísima y San Isidro- y fue hasta finales de la década de 1960, con la formación del ejido Comondú, cuando se incrementó notablemente el número de ranchos ocupados en el oasis (Figura 5B), y la ganadería caprina sustituyó en importancia a la tradicional ganadería bovina (Figura 6A).



**Fig. 5.** Resultados de la simulación: A) Ganado bovino, B) Número de ranchos ocupados (la línea azul son los datos simulados y los puntos rojos los datos observados).



**Fig. 6.** Resultados de la simulación: A) Ganado caprino, B) Población (la línea azul son los datos simulados y los puntos rojos los datos observados).

Quizás la adaptación de sistema agrícola hacia sistema ganadero alivió temporalmente las necesidades económicas del oasis y con el ejido Comondú se redujeron desigualdades. Sin embargo, como podemos ver en las figuras 5A y 6A, el ganado bovino y especialmente el caprino tienen importantes fluctuaciones debido al efecto de huracanes y sequías. Los huracanes incrementan la mortalidad del ganado directamente, pero las sequías, además de incrementar directamente la mortalidad, se asocian con un incremento de la depredación por pumas y coyotes, y ponen en marcha los mecanismos de venta para reducir los costos de mantenimiento de los rebaños (con venta de hembras, individuos viejos y enfermos). El agroecosistema tradicional del oasis de Comondú ha pasado de depender de un recurso más estable y continuo, como son las aguas de los manantiales que nutren su regadío tradi-

cional, a depender fuertemente, con el cambio hacia la ganadería, de las lluvias, el recurso más escaso e irregular en un ambiente árido. Asimismo se ha hecho más vulnerable al efecto de los eventos climáticos extremos frecuentes en la región, huracanes y sequías. El proceso de emigración continua sin freno (Figura 6B), habiendo pasado de 1006 habitantes en 1940 a 257 en 2010.

El modelo COMONDU es una simplificación de un sistema real mucho más complejo; sin embargo, posee una estructura que genera un comportamiento muy similar al observado en el sistema real. El modelo COMONDU ha pasado satisfactoriamente las pruebas de calibración y validación pertinentes y está preparado para fines aplicados (Tenza et al., en revisión). En este ejercicio se identifican las medidas de gestión y políticas que podrían implementarse para alcanzar los objetivos futuros deseados y minimizar o alejarse de los aspectos no deseados. Ante un futuro totalmente incierto, el modelo de simulación dinámica COMONDU, adaptado para poder simular esas visiones, que incluyen tanto cambios en las condiciones de contorno como cambios por políticas y medidas de gestión dentro de la comunidad, puede ayudar a evaluar qué políticas y medidas de gestión responden mejor ante un mayor número de escenarios y cuáles menos, las que son más robustas frente a las más débiles.

La simplificación o generalización del modelo (reducción en el número de variables y relaciones significativas), considerada por algunos autores como la última fase a desarrollar en un modelo de simulación dinámica (Saysel y Barlas, 2006), permitiría su adaptación a otros agroecosistemas tradicionales, como pudieran ser otros oasis de Baja California Sur, o incluso agroecosistemas tradicionales de otras regiones del mundo con características similares.

## 6 Conclusiones

La disponibilidad de agua en un entorno árido da lugar a enclaves de gran importancia para la flora y fauna silvestres, así como para las sociedades del desierto. Estas sociedades han construido a lo largo del tiempo los paisajes bioculturales de los oasis, agroecosistemas tradicionales ubicados a lo largo y ancho del cinturón árido de la Tierra. El desarrollo exitoso de la agricultura de regadío y la complementariedad con otras actividades, como la ganadería extensiva en el secano circundante o la pesca en las regiones costeras, son características de estos lugares. La persistencia de estos agroecosistemas hasta nuestros días no es más que una señal sobre el éxito en sus modelos de uso y aprovechamiento del territorio, de reproducción social, y de que la relación entre sociedad y naturaleza, por difícil que pueda parecer en la actualidad, puede ser sustentable en el tiempo.

Los oasis, agroecosistemas tradicionales de la península de Baja California, fueron los ejes para el desarrollo socioeconómico y cultural hasta la segunda mitad del siglo XX. Los planes de desarrollo regional dirigidos hacia la modernización y expansión agraria de carácter agroindustrial bajo el modelo de la Revolución Verde, y el turismo, marginalizaron a los oasis, que quedaron en un segundo plano y sin acceso a los mercados que cambiaron su orientación hacia la exportación. Si bien, la problemática de cada oasis es diferente, mediante el enfoque teórico y metodológico de la Dinámica de Sistemas hemos desarrollado un estudio en profundidad del caso específico del oasis de Los Comondú, uno de los oasis más grandes y mejor conservados de Baja California Sur, cuyo fuerte éxodo rural amenaza con colapsar este agroecosistema tradicional con más de 300 años de historia. La integración del conocimiento ecológico tradicional a las técnicas de investigación convencionales

ha sido fundamental para mejorar nuestro conocimiento acerca de este agroecosistema, e incluso obtener información cuantitativa y semi-cualitativa para poder construir, calibrar y validar el modelo de simulación dinámica COMONDU. Este modelo, centrado en la problemática del despoblamiento, simula el comportamiento histórico de las principales variables de este sistema (p.ej.: población, superficie de regadío activa, ranchos ocupados, cabezas de ganado bovino, y cabezas de ganado caprino). Al igual que en otras zonas rurales del mundo, el éxodo rural está fuertemente vinculado al acceso a servicios y a la oferta de empleo local. La modernización agraria externa al oasis disminuyó la rentabilidad de la producción agrícola tradicional. El incremento de la emigración fue una de las resultantes. Sin embargo, también se cambió la orientación productiva del oasis de la agricultura a la ganadería extensiva, primero bovina, y posteriormente caprina. Esta adaptación del sistema parece haber hecho más vulnerable al oasis de Los Comondú frente los eventos climáticos extremos frecuentes en la región, sequía y huracanes. Se han abandonado los sitios con la mayor disponibilidad natural de agua y de suelos aptos para el cultivo por esquemas de producción agrícola altamente dependientes de insumos externos (riego por bombeo, pesticida y fertilizante) o para la especulación de la tierra con fines turísticos costeros. El éxodo rural continúa y con ello se pierde un importante ejemplo de agroecosistemas sustentables, que frente a los escenarios de cambio climático pudiesen ser enclaves de arraigo de la población y producción de alimentos. Sin lugar a dudas el deterioro de los oasis y la gran dependencia de la economía de Baja California Sur de esquemas externos hacen más vulnerable a los pobladores de esta región de México.

Finalmente queremos remarcar que el modelo COMONDU, capaz de simular el comportamiento histórico de este agroecosistema, puede ser ahora una herramienta para apoyar procesos de toma de decisión en las comunidades locales para tratar de evaluar qué medidas de gestión y políticas pueden implementarse para mejorar la calidad de vida de los habitantes y frenar el despoblamiento. Así mismo, la simplificación y generalización del modelo COMONDU pudiera servir como base para estudiar otros oasis u agroecosistemas tradicionales de características similares, con la pertinente adaptación para cada caso.

### **Agradecimientos**

En primer lugar queremos agradecer todo el apoyo que nos dieron Ana Luisa Castillo, Wendi L. Domínguez, Jorge L. Noriega e Irene Pérez en el desarrollo del trabajo de campo, especialmente con el inventario de los usos del suelo, las encuestas y las entrevistas en profundidad. En segundo lugar agradecer a todos los vecinos de San Miguel de Comondú y San José de Comondú por su inagotable cariño, hospitalidad y paciencia en estos años. En tercer lugar agradecer los apoyos financieros que hicieron posible el trabajo de campo: a la SEP-CONACYT por la financiación del proyecto (Ref.: CB-2008-01/98484), a la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y a la Generalitat Valenciana por la financiación de las becas para estancia y de carácter predoctoral, respectivamente, otorgadas a Alicia Tenza Peral. Por último agradecer al Gobierno de México a través de la Secretaría de Relaciones Exteriores por la actual beca otorgada a Alicia Tenza Peral.

## Referencias

- Barlas, Y. (1996): Formal aspects of model validity and validation in system dynamics, *System dynamics Review*, 12:183–210.
- Berkes, F. (1993): Traditional Ecological Knowledge in Perspective, en J.T. Inglis, Ed., *Traditional Ecological Knowledge: Concepts and Cases*, Research Centre, Ottawa, International Program on Traditional Ecological Knowledge and International Development.
- Berkes, F., Colding, J., y Folke, C. (2000): Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management, *Ecological Applications*, 10:1251-1262.
- Bravo, L.C., Castellanos, A.E., y Doode, O.S. (2010): Sequía agropecuaria y vulnerabilidad en el centro oriente de sonora. Un caso de estudio enfocado a la actividad ganadera de producción y exportación de becerros, *Estudios Sociales*, 35(18):210-241.
- Camarero, L., Cruz, F., González, M., del Pino, J.A., Oliva, J., y Sampedro, R. (2009): *La población rural de España. De los desequilibrios a la sostenibilidad social*, Barcelona, Fundación “La Caixa”.
- Cariño, M.M. (2001): La oasidad, núcleo de la cultura sudcaliforniana, *Gaceta Ecológica*, 60:57-69.
- Collantes, F. (2007): The Decline of Agrarian Societies in the European Countryside: A Case Study of Spain in the Twentieth Century, *Agricultural History*, 81(1):76-97.
- Forrester, J. (1961): *Industrial dynamics*, Pegasus communications.
- Giménez, M., y Palerm, J. (2007): Organizaciones tradicionales de gestión del agua: importancia de su reconocimiento legal para su pervivencia. El caso de España, *Revista de El colegio de Sonora: Región y sociedad*, 38(19):3-24.
- Jørgensen, S.E., y Bendoricchio, G. (2001): *Fundamentals of Ecological Modelling*, Oxford, Elsevier Science Ltd.
- Martínez-Fernández, J., Esteve-Selma, M. A. y Calvo-Sendín, J. F. (2000): Environmental and Socioeconomic Interactions in the Evolution of Traditional Irrigated Lands: A Dynamic System Model, *Human Ecology* 28(2):279-299.
- Martínez-Fernández, J.; Esteve-Selma, M.A.; Baños-González, I.; Carreño, F. y Moreno, A. (2013): Sustainability of Mediterranean irrigated agro-landscapes, *Ecological Modelling*, 248:11-19.
- Maya, Y., Coria, R., y Domínguez, R. (1997): Caracterización de los oasis, en: L. Arriaga y R. Rodríguez-Estrella, Eds., *Los oasis de la Península de Baja California*, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, pp. 5-25.
- Miles, M.B., y Huberman, A.M. (1994): *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*, Sage, Thousand Oaks.
- Pérez-López, E.P., y Cañez de la Fuente, G.M. (2003): Ganadería en el desierto: estrategias entre los ejidatarios de la costa de Hermosillo, Sonora, México, *América Latina en la Historia Económica*, 20:113-127.
- Peterson, G.D., Cumming, G.S., y Carpenter, S.R. (2003): Scenario Planning: a Tool for Conservation in an Uncertain World, *Conservation Biology*, 17(2):358-366.
- Roberts, N., Andersen, A., Deal, R., Garet, M., y Shaffer, W. (1983): *Introduction to computer simulation: the system dynamics approach*. Addison-Wesley, 352 pp.

Saysel, A.K., Barlas, Y. (2006): Model simplification and validation with indirect structure validity tests, *System Dynamics Review* 22, 241-262.

Sterman, J. (1984): Appropriate summary statistics for evaluating the historical fit of system dynamics models, *Dynamica* 10:51-66.

Tenza, A., Pérez, I., Martínez-Fernández, J., Conway, F.J., Cariño, M., Castorena, L., Breceda, A., y Giménez, A. (2013): Estructura y funcionamiento dinámico del oasis, en: M. Cariño, A. Breceda, A. Ortega, y L. Castorena, Eds., *Evocando el edén. Conocimiento, valoración y problemática del Oasis de Los Comondú*, Icaria editorial, pp. 33-57.

Tenza, A., Giménez, A., Pérez, I., Martínez-Fernández, J., Domínguez, W., Noriega, J., y Castillo, A.L. (2013a): La dinámica del regadío tradicional del Oasis de Los Comondú, en: M. Cariño, A. Breceda, A. Ortega, y L. Castorena, Eds., *Evocando el edén. Conocimiento, valoración y problemática del Oasis de Los Comondú*, Icaria editorial, pp. 363-390.

Tenza, A., Giménez, A., Pérez-Ibarra, I., Domínguez, W., Yee, S., Martínez-Fernández, J., Wurl, J., Cariño, M., y Conway, F. J. (2013b): La dinámica del sistema de rancherías de la cuenca de Comondú, en: M. Cariño, A. Breceda, A. Ortega, y L. Castorena, Eds., *Evocando el edén. Conocimiento, valoración y problemática del Oasis de Los Comondú*, Icaria editorial, pp. 391-407.

Tenza, A., Martínez-Fernández, J., Pérez, I., y Giménez, A. (2014): Una herramienta para la sustentabilidad de sistemas socioambientales tradicionales de ambientes áridos: el modelo COMONDU, en: M. Cariño, y A. Ortega, Eds., *Oasis sudcalifornianos. Para un rescate de la sustentabilidad local*, Granada, Editorial Universidad de Granada, pp. 263-286.

Tenza, A., Martínez-Fernández, J., Pérez, I., y Giménez, A. (En revisión, enviado el 30 de marzo de 2014): A dynamic model of a traditional social-ecological system in Baja California Sur, Mexico: coping with complexity with traditional ecological knowledge, *Ecological Modelling*.

Vennix, J.A.M. (1996): *Group Model Building. Facilitating team learning using system dynamics*. England, John Wiley & Sons, 297 pp.