

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ**

Facultad de Ciencias Experimentales de Elche

Grado en Ciencias Ambientales

2019/2020



**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*



Trabajo de Fin de Grado

**Experimentos en el laboratorio para estudiar la  
gestión de recursos compartidos y la provisión de  
servicios ecosistémicos: el caso de los sistemas  
de regadío tradicionales**

**Alumno: Raúl Cano Fenoll**

**Tutores: Andrés Giménez Casalduero, Alicia Tenza Peral e Irene Pérez Ibarra**

## **RESUMEN**

En el marco de las teorías propuestas por la Premio Nobel Elinor Ostrom sobre gestión de recursos de uso común, se estudia el comportamiento de una comunidad de regantes en un sistema de riego. Mediante un juego de simulación con grupos de alumnos universitarios de Ciencias Ambientales se analiza la capacidad de cooperación sobre la autogestión del agua para riego bajo diferentes condiciones, como son la influencia de la climatología y el mantenimiento del caudal ecológico, dónde observaremos que la comunicación es la variable más importante para que este sistema de riego sea sostenible.

## **PALABRAS CLAVE:**

Comunicación, Sostenibilidad, Autogestión, Caudal ecológico.

## **SUMMARY**

Within the framework of the theories proposed by Nobel Laureate Elinor Ostrom on commonly used resource management, the behavior of a community of irrigators in an irrigation system is studied. A simulation game with groups of university students of environmental sciences analyzes the capacity of cooperation on the self-management of water for irrigation under different conditions, such as the influence of the climate and the maintenance of the ecological flow, where we will observe that communication is the most important variable for this irrigation system to be sustainable.

## **KEYWORDS:**

Communication, Sustainability, Self - management, Ecological Flow.

## ÍNDICE

<b>1. Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 ¿Qué son los bienes comunes? .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 La tragedia de los bienes comunes: ¿inevitable? .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3 ¿Por qué nos interesa estudiar los bienes comunes?.....</b>	<b>11</b>
<b>1.4 Métodos para abordar el estudio de los bienes comunes .....</b>	<b>12</b>
<b>2. Antecedentes y objetivos .....</b>	<b>13</b>
<b>3. Materiales y métodos .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 El juego del riego .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 Etapas en el juego de riego .....</b>	<b>18</b>
<b>4. Resultados .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1 Inversiones totales .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2 Agua total disponible .....</b>	<b>24</b>
<b>4.3 Ganancias totales .....</b>	<b>25</b>
<b>4.4 Agua sobrante.....</b>	<b>26</b>
<b>5. Discusión .....</b>	<b>27</b>
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>30</b>
<b>7. Bibliografía .....</b>	<b>31</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

El impacto de las actividades humanas ha alcanzado tal magnitud que ya es reconocido que nos encontramos en otra era geológica, el Antropoceno, donde el ser humano y sus actividades son una fuerza de cambio global capaces de alterar los ciclos vitales del planeta de los que depende nuestra propia supervivencia (Crutzen y Stoermer 2000, Equihua-Zamora et al. 2016).

Factores indirectos como el crecimiento demográfico y cambios en nuestro modo de vida y de consumo, y factores directos como los cambios de uso del suelo o la explotación de recursos naturales, están ejerciendo como nunca antes una presión sobre los ecosistemas y los servicios ecosistémicos esenciales asociados, los cuales son de provisión, regulación, soporte y culturales (tabla 1). El 60 % de los servicios ecosistémicos analizados en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio del 2005 mostraron señales de deterioro y degradación, haciendo evidente que no se está haciendo un uso sostenible de los mismos (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

**Tabla 1.** Servicios ecosistémicos esenciales (MA, 2005).

Servicio de provisión	Productos obtenidos del ecosistema (alimentos, agua dulce, etc.)
Servicio de regulación	Beneficios obtenidos de la regulación de los procesos del ecosistema (regulación del clima, regulación y saneamiento del agua, etc.)
Servicio de soporte	Necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos (formación de suelos, producción primaria, etc.)
Servicio cultural	Beneficios no materiales que la gente obtiene de los ecosistemas (educativo, herencia cultural, etc.)

Entre los servicios ecosistémicos degradados durante los últimos 50 años, destacan por su insostenibilidad la pesca y el uso de agua para riego por sobrepasar con creces sus tasas de renovabilidad. Los cultivos de regadío consumen el 70% del agua dulce destinada para uso humano.

Sin embargo, no todos los sistemas de gestión de estos recursos acaban en el desastre de la sobreexplotación y el agotamiento, resultado comúnmente conocido como la tragedia de los comunes (Hardin 1968). Numerosos estudios de caso han demostrado que la gestión sostenible de recursos naturales es posible por siglos e incluso milenios (Ostrom 1990).

Por todo el mundo existen sistemas de regadío tradicional de pequeña escala, los cuales representan cerca del 90% de la superficie total irrigada en el planeta, y que contribuyen a la seguridad alimentaria local, regional y global (FAO 2008). Además de la provisión de alimentos, estos sistemas cumplen con otras importantes funciones como la conservación de valores culturales etnográficos e históricos, valores escénicos relacionados con el mantenimiento de paisajes de alta calidad, actividades recreativas y de turismo rural, y la conservación de la diversidad biológica (incluyendo la agrobiodiversidad, la conservación de razas y variedades cultivadas), y la conservación del suelo fértil (Martínez-Fernández y Esteve-Selma 2002).

Entendemos por sostenibilidad, o éxito en la gestión de recursos de uso común, el aprovechamiento del recurso o tasa de extracción que respeta su capacidad natural de renovación. De modo que la disponibilidad del recurso está garantizada para satisfacer las necesidades de la población actual y local, sin comprometer la capacidad de generaciones futuras o de poblaciones de otras regiones de satisfacer sus necesidades. Una vez aclarada esta definición nos planteamos la siguiente cuestión:

¿Qué factores determinan que la gestión de un recurso natural lleve a la sobreexplotación (fracaso) o a la sostenibilidad (éxito)? Esta pregunta señala la importancia clave de estudiar los mecanismos de gestión de recursos naturales de uso común, también conocidos como bienes comunes y es abordada comúnmente a través de estudios de campo y más recientemente a través de experimentos socioeconómicos los cuales permiten abordar el estudio de las decisiones individuales y colectivas en la gestión de recursos de uso común bajo condiciones controladas.

A continuación, se expone el marco conceptual en el que hay que ubicar esta cuestión y los métodos utilizados para su abordaje.

## 1.1 ¿Qué son los bienes comunes?

De manera general, los bienes se pueden clasificar en cuatro grandes categorías de acuerdo con dos atributos, su extractabilidad (si es rival o no en su consumo ¿el uso del bien por una persona reduce la capacidad de otra para usarlo?) y su exclusión (¿se puede evitar que las personas usen dicho bien?). A continuación, se describen ejemplos de estas cuatro categorías básicas (Figura 1).

**Figura 1.** Categorías de los bienes (Fuente: Adaptado Anderies y Janssen 2013).

		¿Rivales en consumo?	
		Sí	No
¿Excluyente?	Sí	Bienes privados	Bienes reservados
	No	Bienes comunes	Bienes públicos

- Bienes privados: excluyentes y rivales en el consumo. Por ejemplo, un vaso de agua. El vaso de agua es excluyente, ya que se puede evitar que alguien lo consuma, simplemente no se le sirve a esa persona. Un vaso de agua es rival en el consumo, ya que, si una persona consume un vaso, no es posible que otra consuma el mismo vaso. La mayoría de los bienes en la economía es como estos vasos, es decir, bienes privados. Esto implica que usted no obtiene uno a menos que haya pagado por él, y ya que lo obtiene, usted es el único que puede beneficiarse de él (Mankiw, 2012).

- Bienes públicos: ni excluyentes ni rivales en el consumo. No se puede excluir a las personas del uso y beneficio del bien público, y el uso de este bien por una persona no reduce la capacidad de otra para usarlo. Por ejemplo, la alarma de incendios en un pueblo es un bien público, ya que cuando suena la alarma, es imposible impedir que alguien la oiga así que no es excluyente. Las personas obtienen el beneficio de la advertencia y no reduce el beneficio de nadie, por lo tanto, no es rival en el consumo (Mankiw, 2012).

- Bienes reservados (o de club): excluyentes, pero no rivales en el consumo. Un ejemplo de este tipo de bienes sería la plataforma multimedia "Netflix". Tienes que registrarte y pagar para poder disfrutar de los servicios de la plataforma. Sin embargo, el número de usuarios inscritos en la plataforma no merma ni la cantidad ni la calidad de los servicios ofrecidos. (Mankiw, 2012).

- Bienes comunes: rivales en el consumo, pero no excluyentes. Por ejemplo, la pesca en el océano es rival en el consumo, porque cuando una persona pesca, existe una menor cantidad de peces disponible para otros pescadores. Sin embargo, no es excluyente, dada la dificultad de controlar el acceso y la actividad de otros pescadores. (Mankiw, 2012).

En conclusión, los bienes comunes son aquellos de acceso universal, pero rivales en consumo. Su gestión sostenible depende en gran medida de factores como la organización de los usuarios del recurso, la creación de normas y reglas para su uso y distribución, la creación de mecanismos de vigilancia y sanción, y la confianza entre los usuarios, entre otros (Ostrom 1990, 2009, Anderies y Janssen 2013). Ejemplos de recursos que se consideran "bienes comunes" incluyen los árboles de los bosques, los peces de las pesquerías o el agua para riego que son accesibles a los miembros de una comunidad.

## 1.2 La tragedia de los bienes comunes: ¿inevitable?

En 1968, el biólogo estadounidense *Garret Hardin* escribió un artículo en la revista *Science* titulado "La tragedia de los bienes comunes" (Hardin 1968), el cual marcaría un antes y un después en la concepción de la gestión de los recursos naturales de uso común (Anderies y Janssen 2013). Garrett Hardin fue un ecólogo que advirtió sobre los peligros que la creciente población humana generaría al medio ambiente.

En este ensayo exponía el dilema de que cuando la gente comparte un recurso tiende a sobreexplotarlo porque se maximiza ante todo el interés individual sobre el interés colectivo, incluso cuando es evidente que esto no beneficia a nadie a largo plazo, porque finalmente se alcanza el agotamiento de ese recurso compartido. Ante esta tragedia, Hardin, planteaba dos posibles soluciones para escapar de ellas: la privatización y la intervención del Estado.

Proporcionó un análisis simple y una solución sencilla a los problemas ambientales que surgían. Para evitar la sobreexplotación de recursos compartidos en común era crítico para el Estado: 1) establecer, supervisar y hacer cumplir los derechos de propiedad privada, o 2) regular directamente el uso de los bienes comunes, ya sea imponiendo impuestos o restringiendo directamente su uso (por ejemplo, el otorgamiento de licencias).

Hardin había concluido que los individuos tienden a aumentar sus comportamientos egoístas cuando se enfrentan a situaciones de escasez en la explotación de cualquier recurso natural o bien común, de tal manera que se involucran en circunstancias no cooperativas y por lo mismo aceleran la degradación del bien que se encuentra en riesgo. Su idea era que quienes se apropian de esos recursos caen en juegos con una estrategia dominante: la no cooperación, lo cual conlleva a la nombrada tragedia del bien común.

Desde este ensayo, ha surgido una creciente conciencia de que la tragedia no es el único resultado posible cuando las personas comparten un recurso común.

Elinor Ostrom fue una politóloga que desarrolló un marco teórico para estudiar la capacidad de las comunidades para superar la tragedia de los bienes comunes (Anderies y Janssen 2013). Con esta investigación ganó el Premio Nobel de Economía en 2009. Esto llevó a que desde principios de los años ochenta, se hayan documentado ejemplos de recursos compartidos en común que han sido gestionados de manera sostenible durante largo tiempo sin derechos de propiedad privada ni intervenciones gubernamentales (Ostrom 1990).

Esta autora sugiere que hay que llegar a soluciones alternativas a las planteadas por los teóricos del Estado o de la privatización, pues estas soluciones no son las únicas vías para resolver los problemas a los que se enfrentan quienes se apropian de recursos de uso común. Ella mostró a partir del análisis de casos de estudio, que la sobreexplotación no es inevitable y que es posible el éxito del autogobierno de los bienes comunes (Ostrom 1990).

En su trabajo, se puede observar que no siempre se puede evitar la tragedia de los bienes comunes, al documentar una serie de casos de estudio como ejemplos de fracasos en la gestión de recursos de uso común. Sin embargo, de los casos de gestión exitosa extrajo una serie de principios de diseño institucional que identificó como características comunes en todos ellos (Tabla 2). Cumplir con estos principios de diseño no garantiza la sostenibilidad, pero parecen ser características que favorecen el éxito en la gestión de recurso.

**Tabla 2.** Características institucionales propuestas por Elinor Ostrom (Ostrom 1990).

<b>Principio de diseño institucional</b>	<b>Descripción</b>
Límites claramente definidos	Los límites del sistema de recursos (por ejemplo, el sistema de riego o pesqueros) y los individuos u hogares con derechos de aprovechamiento de unidades de recurso están claramente definidos.
Equivalencia proporcional entre beneficios y costos	Las reglas que especifican la cantidad del recurso asignado a un usuario están relacionadas con las condiciones locales y con las reglas de requerimiento de trabajo, materiales y/o insumos monetarios.

Acuerdos de elección colectiva	Muchos de los individuos afectados por las reglas de aprovechamiento y protección están incluidos en el grupo de actores que puede modificar dichas reglas.
Monitoreo/Monitorización	Los monitores, que vigilan activamente las condiciones biofísicas y el comportamiento de los usuarios, son al menos parcialmente responsables ante los usuarios y/o son los propios usuarios.
Sanciones graduales	Los usuarios que violan las reglas-en-uso son susceptibles de recibir sanciones graduales (dependiendo de la gravedad y el contexto de la infracción) por parte de otros usuarios, de los funcionarios responsables ante estos usuarios, o de ambos.
Mecanismos para la resolución de los conflictos	Los usuarios y sus funcionarios tienen acceso rápido a situaciones de acción local de bajo costo para resolver conflictos entre usuarios o entre usuarios y funcionarios.
Reconocimiento mínimo de los derechos de organización	Los derechos de los usuarios de diseñar sus propias instituciones no son cuestionados por las autoridades gubernamentales externas, y los usuarios tienen derechos de tenencia sobre el recurso a largo plazo.
Organismos anidados	La apropiación, provisión, monitoreo/monitorización, cumplimiento, resolución de conflictos y actividades de gobierno se organizan en múltiples capas de organismos anidados.

Las aplicaciones de este trabajo pueden encontrarse en organizaciones que gestionan proyectos de desarrollo en países en vías de desarrollo, que avanzan en prácticas agrícolas para mejorar la seguridad alimentaria, y que tratan de proteger la biodiversidad. Además, las ideas sobre cómo sostener los bienes comunes se aplican cada vez más a los bienes comunes que no son tradicionales, tales como las áreas de conocimiento, cultura, educación y salud (Anderies y Janssen 2013).

### **1.3 ¿Por qué nos interesa estudiar los bienes comunes?**

Ante el panorama de crisis ambiental sin precedentes, y de nuestra profunda dependencia económica y social del entorno, gestionar el uso de los recursos naturales de manera sostenible es una prioridad a escala global.

El estudio de los bienes comunes nos permite aprender sobre los factores que contribuyen a la gestión sostenible de los recursos naturales de uso común, como son los principios de diseño institucional identificados por Ostrom (1990). A escala global existen numerosas instituciones locales (reglas y normas) desarrolladas por los usuarios de recursos de uso común que están adaptadas a las condiciones ambientales y socioeconómicas de su entorno. La diversidad institucional es crítica para enfrentar los efectos del cambio global, dado que recoge soluciones y diseños institucionales capaces de responder ante situaciones concretas (Ostrom 2011).

Cuanto más amplio es el abanico de soluciones para una determinada situación, más alta es la posibilidad de adaptarse y ser resiliente. Para entender esto mejor, podemos establecer un paralelismo con la diversidad biológica, en el que un ecosistema es más resiliente en la medida que tiene un mayor número de especies que cumplen una determinada función (redundancia). La posible desaparición de una de estas especies es compensada con las otras especies que cumplen el mismo rol, de modo que el ecosistema mantiene su funcionalidad a pesar de esa perturbación.

Por lo tanto, el estudio de los bienes comunes nos ofrece aprender de soluciones y diseños institucionales capaces de enfrentar los desafíos que el cambio global nos puede deparar.

#### **1.4. Métodos para abordar el estudio de los bienes comunes**

Dada la importancia de estudiar los bienes comunes y realizar una gestión eficiente para poder mantenerlos, observamos que llevar a cabo su estudio únicamente a través del estudio en profundidad de estos casos sería complejo por la cantidad de recursos necesarios tanto en términos económicos, tiempo y esfuerzo.

Por lo tanto, surge la necesidad de complementar los estudios de campo con experimentos socioeconómicos en laboratorios (Ostrom 2006). El diseño y la aplicación de este tipo de experimentos permite analizar el impacto de variables concretas sobre las acciones individuales y colectivas en el uso de recursos de uso común bajo condiciones controladas, algo que es imposible solamente con los estudios de campo. Los resultados de ambos experimentos nos proporcionan unos datos que se validan mutuamente. Es decir, los resultados de laboratorio proporcionan una validez interna a los datos observados en campo y los datos observados en campo validan de manera externa los resultados de laboratorio (Ostrom 2006).

En los últimos años se ha incrementado el uso de experimentos socioeconómicos en el trabajo de campo como una herramienta en el estudio del comportamiento económico, útil para explorar cómo afectan las decisiones de las personas al bienestar individual y colectivo. Existen distintas aplicaciones de estos juegos para abordar cuestiones de desarrollo y ambiente. Muchas de ellas se ocupan de aspectos particulares de la acción colectiva como la cooperación, las contribuciones voluntarias para los bienes públicos, la confianza, la reciprocidad, el altruismo y las normas sociales (Cárdenas 2009).

Estos experimentos se han replicado en contextos culturales y en fondos comunes de participantes muy distintos. De estos estudios han surgido algunos patrones robustos; sin embargo, las variaciones entre las distintas experiencias también han enriquecido la comprensión del comportamiento humano (Cárdenas 2009).

Aun cuando la mayor parte de estos juegos se utilizan como herramientas de investigación (Anderies et al. 2013, Baggio et al. 2015, Finkbeiner et al. 2018), algunos investigadores han observado que el uso de juegos en intervenciones de investigación para el desarrollo puede incrementar el conocimiento y la comprensión de la acción colectiva en las comunidades y, finalmente, en algunos casos incluso incrementan la cooperación (Meinzeck-Dick et al. 2018).

## **2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS**

Centrándonos en los sistemas de riego, son muchos los experimentos sobre este bien común que se han realizado. Estos experimentos (tabla 3) consisten en el estudio de la variabilidad del recurso del agua frente a la estructura del sistema del riego y sus reglas.

Observamos en los sistemas de riego estructurados de cabeza a cola del río una distribución asimétrica del recurso, puesto que los jugadores posicionados a la cabeza del río acceden primero al agua. Pero con ayuda de la comunicación se consigue una distribución equitativa del agua, ya que, si los jugadores a la cola no obtienen agua, no serán capaces de invertir en mantenimiento para infraestructuras.

Gracias a la comunicación la comunidad de regantes es capaz de enfrentarse a diferentes situaciones y superarlas. La inversión en mantenimiento de las infraestructuras para mantener el sistema de manera correcta se lleva de manera eficiente y gracias a esto, los años secos siguen obteniendo agua para regadío.

Observamos que se han centrado principalmente en el servicio ecosistémico de provisión (p.ej., uso del agua de riego para la producción de alimentos), dejando sin explorar el efecto los efectos de tener que mantener otros servicios ecosistémicos clave como los de regulación (p.ej., mantenimiento de un caudal ecológico) en la toma de decisiones individuales y colectivas en los sistemas de riego. Por lo tanto, en este trabajo, adaptaremos los experimentos de riego anteriores incorporando otros servicios ecosistémicos e interés como son los de soporte asociados al mantenimiento de un caudal ecológico, y cómo esto se vería afectado por la variabilidad climática.

**Tabla 3.** Antecedentes en experimentos de riego.

Experimentos de riego existentes	Descripción
La variabilidad ambiental y la acción colectiva: conocimientos experimentales de un juego de irrigación (Anderies et al 2013)	Se analiza el efecto de la variabilidad climática sobre la acción colectiva cuando la distribución del recurso es asimétrica (como es el caso de los sistemas de riego que muestran asimetría en el acceso al recurso de la cabeza a la cola).
El efecto de la información en un experimento de riego de comportamiento (Janssen et al 2015)	Se estudian los efectos de la cantidad y calidad de la información disponible para los usuarios del recurso sobre la acción colectiva y la capacidad de enfrentar perturbaciones.
Experimentos de riego en el laboratorio: confianza, variabilidad ambiental y acción colectiva (Baggio et al 2015)	Se analiza el papel de la confianza entre los usuarios del recurso y la influencia de la variabilidad ambiental en la acción colectiva ante el acceso asimétrico de los recursos.
Jugando juegos para ahorrar agua: juegos de acción colectiva para aguas subterráneas, gestión en Andhra Pradesh, India (Meinzen-Dick et al. 2018)	Se utilizan el uso de juegos de acción colectiva para medir el grado de cooperación y comprensión de la población local de las interrelaciones llevadas a cabo para poder gestionar el recurso del agua subterránea, llevando a cabo un aprendizaje social y así estimular el autogobierno colectivo en este sistema.

Nuestro objetivo principal será el de analizar las decisiones individuales y colectivas sobre la gestión del agua de riego bajo condiciones de variabilidad climática, teniendo como meta no solo la producción de alimentos, sino que también el mantenimiento de un caudal ecológico y el desarrollo de un sistema de riego sostenible.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

En los experimentos expuestos en el anterior apartado sobre los bienes comunes, hemos visto que mediante un juego se han llevado una serie de simulaciones sobre cómo gestionar los recursos. Si nos centramos en la población de regantes, observamos que los integrantes se enfrentan a problemas como son la variabilidad ambiental, que con ayuda de la comunicación entre la comunidad, son capaces de gestionar el recurso de manera sostenible, es decir, reparten el agua equitativamente independientemente de la disposición de cada regante (río arriba y río abajo) y consiguen mantener las infraestructuras de mantenimiento para no sobreexplotar el recurso.

El experimento que hemos desarrollado es una adaptación del experimento ya existente y descrito en la sección de antecedentes (Anderies et al. 2013, Janssen et al. 2015, Baggio et al. 2015) en el que se trata de analizar la gestión del agua dentro de una comunidad de regantes bajo diferentes supuestos, en los que se permite o no la comunicación entre los usuarios del recurso, hay o no hay variabilidad climática, y además del servicio ecosistémico de producción de alimentos, se fija como meta la conservación de un caudal ecológico.

Este experimento de riego se llevó a cabo en una sesión de 3 horas de duración en el contexto de una práctica de la asignatura de Educación Ambiental de 4º curso de Ciencias Ambientales.

#### **3.1 El juego del riego**

En este juego simularemos la toma de decisiones dentro de una comunidad de regantes, donde los usuarios (o regantes) se distribuyen a lo largo del sistema (de cabeza a cola).

En este caso se formaron 4 grupos (comunidades de regantes) con 5 personas (regantes) cada uno de ellos. A cada uno de los integrantes de los grupos se les asignó una posición en su comunidad de cabeza a cola (posiciones A, B, C, D y E) mediante un sorteo al azar, siendo el jugador con la letra A posicionado a la cabeza del sistema de riego y el jugador E a la cola (Figura 2).

**Figura 2.** Posición de los jugadores (Fuente: elaboración propia).



El juego tiene un total de cuatro etapas y cada etapa se compone de 10 rondas, donde estas rondas serán años para riego. Al comienzo de la primera ronda se reparte una hoja de decisiones a cada jugador, donde tomarán nota de sus decisiones individuales a lo largo del juego de manera privada, sin interacción con los otros integrantes del grupo. En cada ronda, cada regante tiene 10 unidades. Cada jugador debe decidir en cada ronda cuántas unidades gasta para mantener las infraestructuras comunes del sistema de riego (fondo común) y cuántas conserva para sí mismo. El estado de las infraestructuras comunes repercute en la disponibilidad de agua para el riego (Tabla 4 y Figura 3).

**Tabla 4.** Tabla de la cantidad de agua disponible (Fuente: Material del juego de riego).

Unidades totales invertidas en el fondo público por los 5 jugadores	Agua disponible
0-10	0
11-15	5
16-20	20
21-25	40
26-30	60
31-35	75
36-40	85
41-45	95
46-50	100

**Figura 3.** Figura de la cantidad de agua disponible (Fuente: Material del juego de riego).



Tras la toma de decisiones respecto a las unidades invertidas en el mantenimiento del sistema de riego, se calcula la suma de estas contribuciones, y con ayuda de la tabla 4, se determina la cantidad de agua total disponible para esa ronda. Dependiendo de cuanto inviertan en mantenimiento esto influirá en cuantas unidades de agua habrá disponibles para los 5 jugadores, es decir, si cada jugador invierte 10 unidades en el mantenimiento del sistema de riego, habrá 100 unidades de agua para ser distribuida entre los 5 jugadores.

Tras conocer el agua total disponible, cada jugador puede tomar parte de la cantidad de unidades de agua disponibles. El jugador A (posicionado a la cabeza del sistema) es el primero en decidir cuánta agua tomar, siendo este jugador más privilegiado al ser el primero en tener acceso al recurso. Si este jugador coge toda el agua, los demás jugadores no tendrán agua para esa ronda (año de riego), con lo cual esto podría afectar ronda tras ronda a la inversión en mantenimiento, puesto que, si los regantes posicionados a la cola del sistema de riego no reciben agua, podrían decidir no invertir en mantenimiento, afectando así al agua total disponible.

Las reglas e instrucciones completas de este experimento de riego se pueden consultar en el Anexo 1.



### 3.2 Etapas del juego de riego

Este juego se divide en 4 etapas (Tabla 5) con 10 rondas cada una de ellas, donde en cada etapa se va añadiendo una serie de variables. En este apartado explicaremos cada una de ellas.

**Tabla 5.** Características de cada etapa (Fuente: elaboración propia).

	<b>Agua para riego</b>	<b>Caudal ecológico</b>	<b>Variabilidad ambiental</b>	<b>Comunicación</b>
<b>Etapa inicial (solo riego)</b>	X			
<b>Etapa de mantenimiento de caudal ecológico</b>	X	X		
<b>Etapa de variabilidad en el recurso</b>	X	X	X	
<b>Etapa de comunicación entre usuarios</b>	X	X	X	X

- Etapa inicial (solo riego).

En esta primera etapa los jugadores sólo deben tomar dos decisiones, la cantidad de unidades a aportar al fondo común destinado al mantenimiento del sistema de riego y la cantidad de agua a coger para riego del total disponible. Sólo deben mantener un servicio ecosistémico, en este caso, el agua para riego para producción de alimentos. En esta etapa no está permitida la comunicación entre los miembros del grupo, y no hay variabilidad en la disponibilidad del recurso.

- Etapa de mantenimiento de caudal ecológico.

Entra en juego el mantenimiento del caudal ecológico, aunque siguen sin comunicación. La única diferencia entre esta etapa y la anterior es que ahora el juego recrea la situación de un sistema de riego en el que las aguas sobrantes del riego sirven para mantener la calidad y cantidad de agua en el río. Deben ser capaces de conseguir agua apta para consumo, así como para mantener la biodiversidad.

La tabla 6 muestra la relación entre la cantidad de agua disponible y la calidad del agua. Cuando la cantidad de agua es menor de 4, la calidad del agua no es apta para consumo, aunque sí para la biodiversidad. En ese caso, los jugadores deberán pagar para proveer de los recursos necesarios para mejorar la calidad del agua. En la tabla anterior se puede ver la cantidad que los jugadores deberán pagar en la siguiente ronda. Esa cantidad se restará de los 10 puntos iniciales que cada jugador tiene para invertir en el fondo común

**Tabla 6.** Relación entre cantidad de agua y su uso (Fuente: Material del juego de riego).

Agua sobrante del riego	Calidad del agua	¿Apta para consumo?	¿Adecuada para la biodiversidad?	Cantidad a pagar siguiente ronda	Cantidad a pagar por jugador
0	0	No	No	30	6
1	5%	No	No	25	5
2	20%	No	No	20	4
3	40%	No	No	15	3
4	60%	Si	No	0	0
5	75%	Si	Si	0	0
>5	75-100%	Si	Si	0	0

**- Etapa de variabilidad en el recurso**

En esta etapa existe variabilidad ambiental que afecta a la cantidad disponible del recurso. Los regantes siguen sin comunicación. La única diferencia respecto a la etapa anterior es que, en cada ronda, se lanza un dado para determinar si el año es “año seco”, “año medio” o “año húmedo” (Tabla 7). Los jugadores deberán de ser capaces de conseguir todos los objetivos de la etapa anterior independientemente de si el año es seco, normal o húmedo.

**Tabla 7.** Agua total disponible en función de la variabilidad climática.

	Dado 1,2	Dado 3,4	Dado 5,6
	Agua disponible		
Unidades totales invertidas en el fondo público por todos los participantes	Año seco	Año medio	Año húmedo
0-10	0	0	0
11-15	2	5	8
16-20	8	20	32
21-25	16	40	64
26-30	24	60	96
31-35	30	75	120
36-40	34	85	136
41-45	38	95	152
46-50	40	100	160

- Etapa de comunicación entre usuarios

Se añade la variable comunicación entre los participantes de cada grupo. Los jugadores deben ser capaces de discutir cualquier aspecto del juego y poder llegar a un acuerdo para que todos obtengan beneficios y lograr los objetivos establecidos, como lo es obtener un sistema de riego eficiente a través de la cooperación con ayuda de la comunicación.

#### 4. RESULTADOS

La tabla 8 muestra resultados estadísticos del experimento.

**Tabla 8.** Resultados medios y sus desviaciones en cada etapa.

Etapa	Inversión		Agua total		Ganancias		Agua sobrante	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Inicial (solo riego)	60,67	14,54	60,67	6,83	16,80	2,79	0,67	1,08
Mantenimiento de caudal ecológico	50,87	9,81	50,87	5,40	12,06	3,10	3,57	0,93
Variabilidad en el recurso	53,67	8,49	53,67	7,12	13,04	2,41	3,37	1,05
Comunicación entre usuarios	81,20	3,50	81,20	6,39	16,77	0	4,83	0,28

En la etapa inicial, que denominaremos etapa de aprendizaje, puesto que los jugadores están entrando en contacto con el experimento, observamos unos valores irregulares debido a que el objetivo principal era obtener agua para riego e invertir en mantenimiento.

En las etapas donde entra en juego el mantenimiento del caudal ecológico y la variabilidad ambiental, los valores comienzan a ser regulares, puesto que, al ser alumnos de ciencias ambientales, tienen los suficientes conocimientos como para empezar a gestionar el recurso de manera sostenible.

En la última etapa, en la única que entra en juego la comunicación, los jugadores fueron capaces de gestionar el recurso de manera exitosa (sostenible) y se alcanzaron valores óptimos en todas las variables.

A continuación, analizaremos cada resultado individualmente para observar las diferencias entre etapas.

#### **4.1 Inversión total**

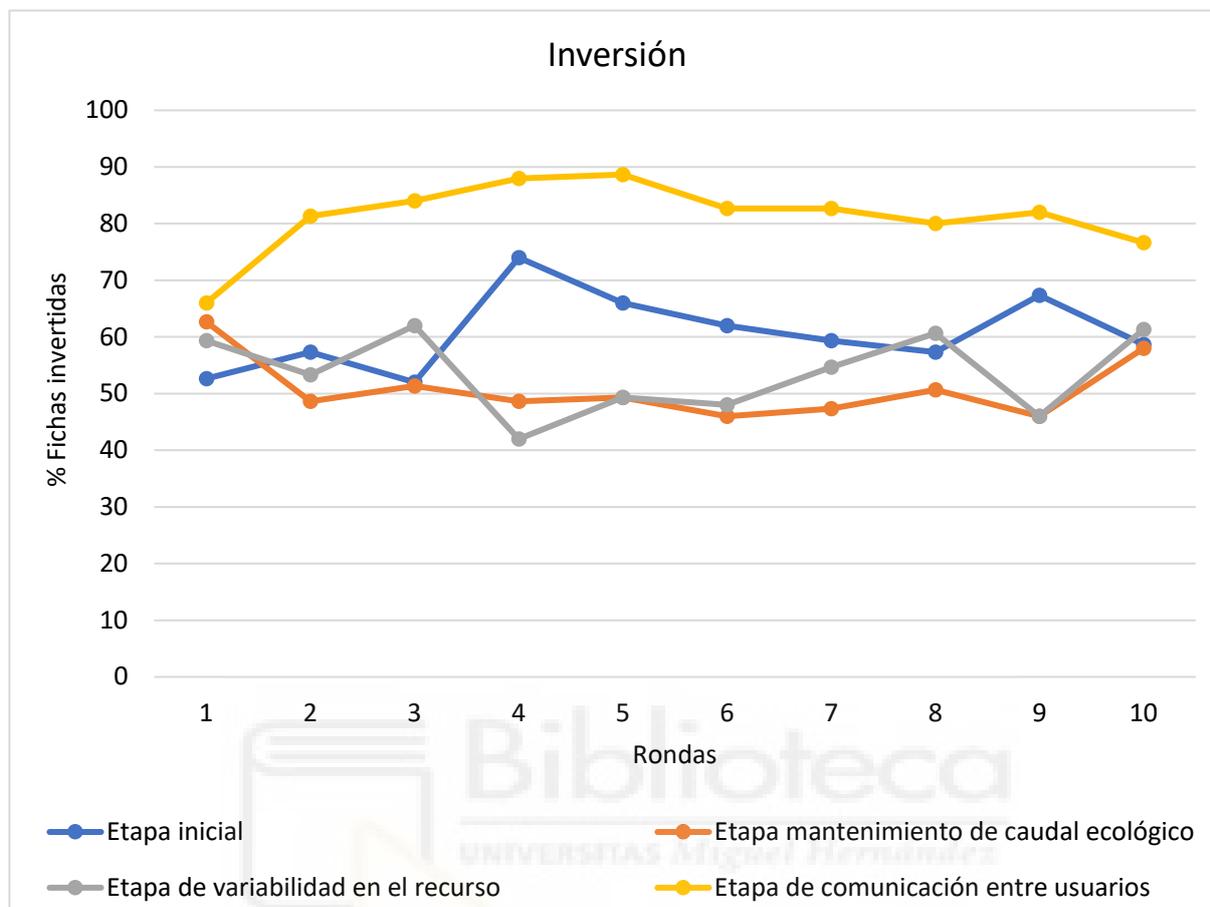
La inversión total en la etapa inicial (Figura 3) fue variable en cada ronda. Recordemos que, si los jugadores a la cabeza del sistema de riego se quedaban con toda el agua, los jugadores posicionados en la cola no invertían en la ronda siguiente, puesto que no tenían ganancias.

En la etapa de mantenimiento del caudal ecológico y obtención de agua para consumo humano, las inversiones fueron constantes, puesto que los jugadores fueron conscientes de la importancia de mantener este parámetro para su supervivencia.

En la etapa de variabilidad ambiental, la inversión dependió de si el año fue húmedo o seco. Los jugadores invirtieron más en mantenimiento en los años húmedos, puesto que las ganancias eran mayores.

En la etapa con comunicación, los integrantes del grupo, al tener un breve periodo de tiempo entre ronda y ronda para discutir cómo gestionar sus decisiones, fueron capaces de obtener unos valores constantes en mantenimiento llegando a tener éxito en este parámetro. La inversión solo se vio afectada ligeramente por la variabilidad climática, cuando el año era seco.

**Figura 4.** Inversión media total de todos los jugadores en las diferentes etapas.



#### 4.2 Agua total disponible

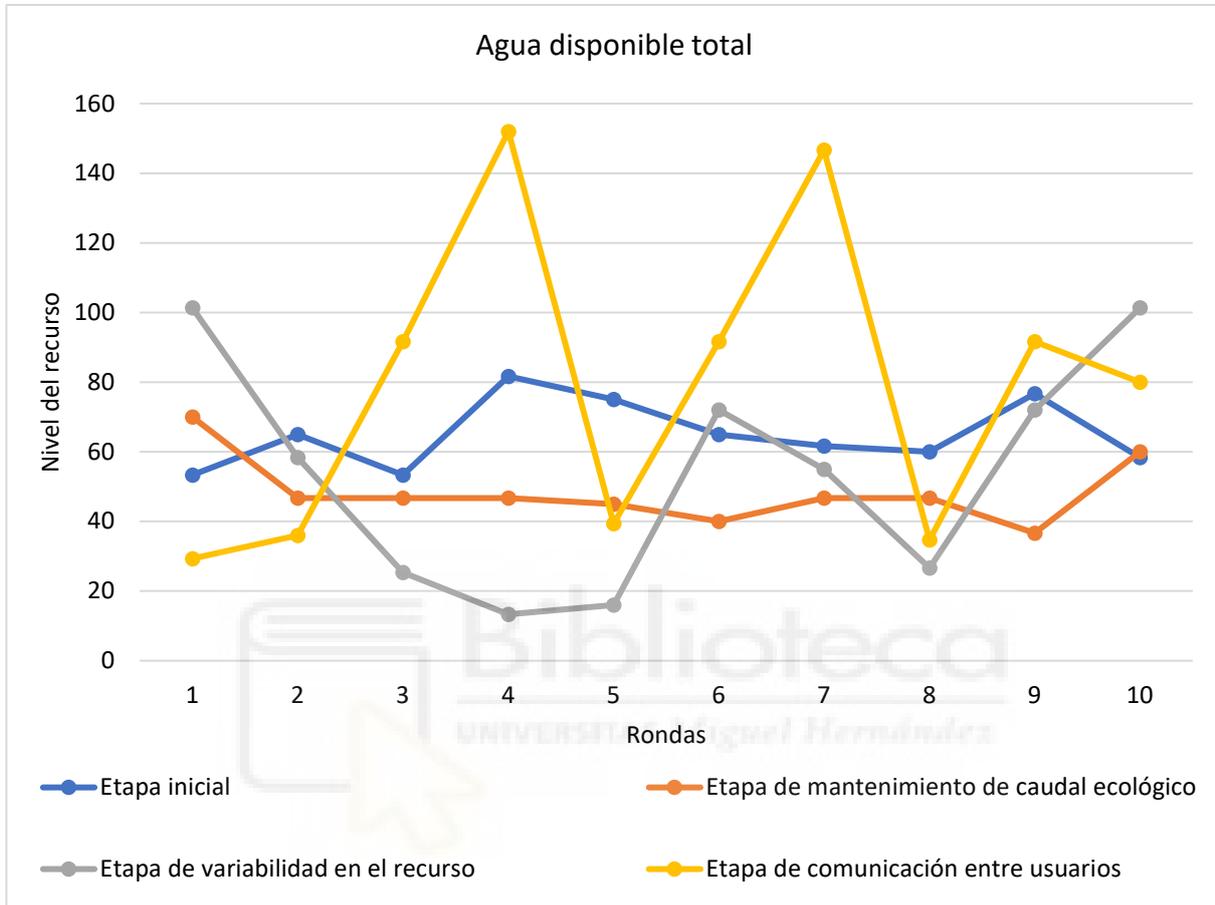
En cuanto al agua total disponible (Figura 5), observamos que durante la etapa inicial los valores fueron irregulares y dependientes de las inversiones que se hacían.

En la etapa que se incluye el mantenimiento del caudal ecológico y obtención de agua para consumo humano, observamos que los valores fueron constantes y algo bajos, puesto que en esta etapa debía sobrar agua para las rondas siguientes y así mantener el sistema de manera sostenible.

En la etapa donde entra en juego la variabilidad ambiental, los valores fueron muy irregulares y en algunos casos insuficientes para mantener el sistema, sobre todo en los años secos.

En la etapa donde se permite la comunicación, los valores fueron mucho mejores, a excepción de los años secos,

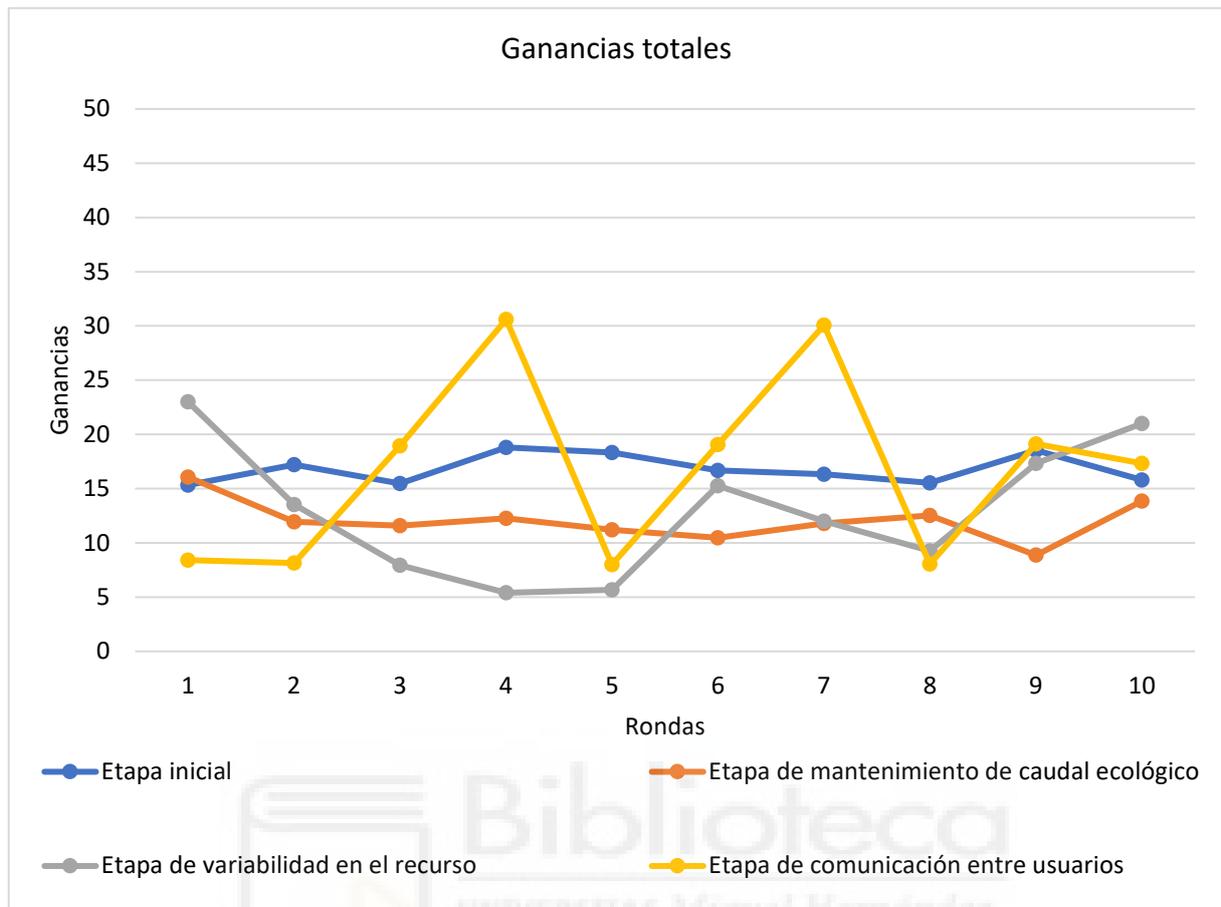
**Figura 5.** Agua disponible total media de todos los jugadores en las diferentes etapas.



### 4.3 Ganancias totales

En cuanto a las ganancias totales (Figura 6), observamos que en todas las etapas estos valores están totalmente ligados a la cantidad de agua disponible que se obtenga en las rondas (Figura 5, Tabla 8). Las mayores ganancias totales se alcanzaron en la etapa con comunicación, puesto que es en la que más agua obtiene el sistema.

**Figura 6.** Ganancias medias totales de todos los jugadores en las diferentes etapas.



#### 4.4 Agua sobrante

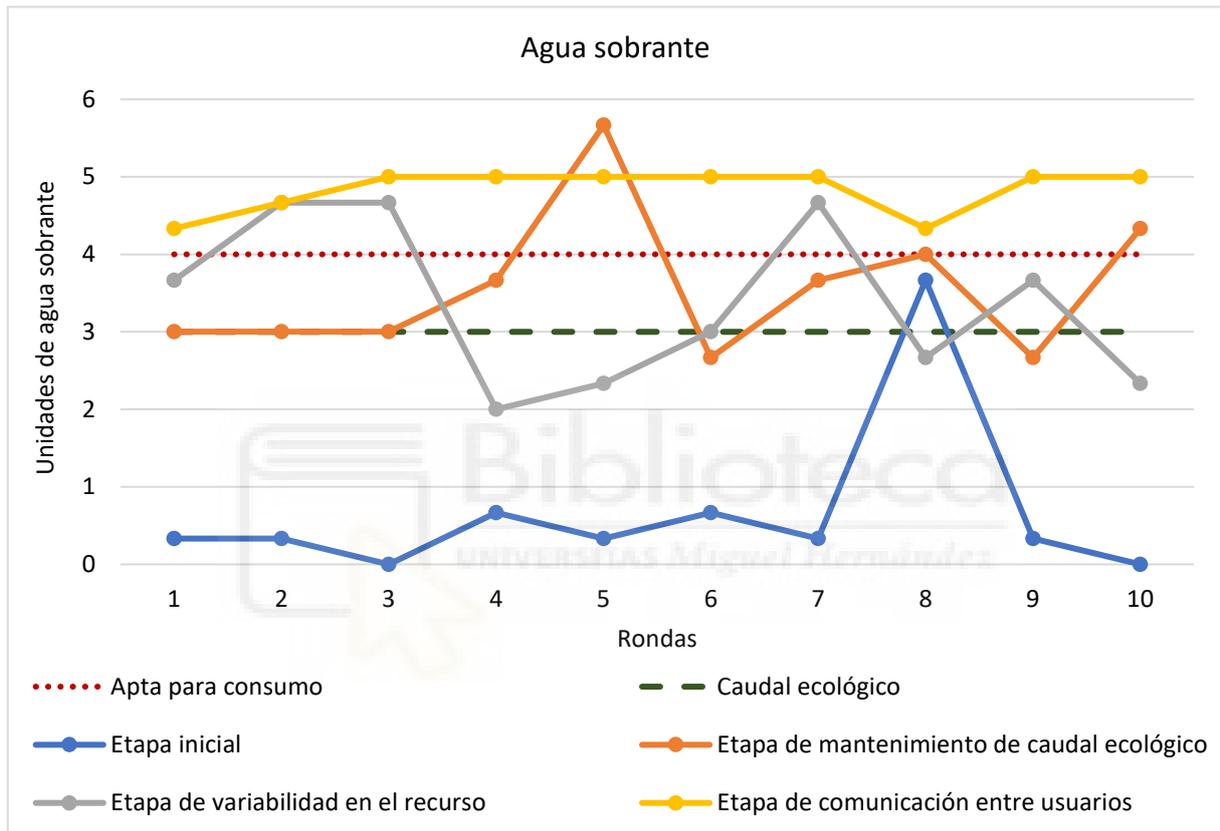
En cuanto al agua sobrante (Figura 7), observamos que, durante la primera etapa, el agua que sobra ronda tras ronda es escasa. Recordemos que esta etapa es de aprendizaje y lo normal es que no sobre agua, dado que no hay necesidad de mantener un flujo de agua sobrante.

En la etapa de mantenimiento del caudal ecológico y obtención de agua para consumo humano, comienza a sobrar agua, puesto que intentan mantener el sistema de manera sostenible, aunque en algunas rondas no lo consiguen (los valores quedan por debajo de los umbrales establecidos para el mantenimiento de la calidad de agua para consumo humano y para el mantenimiento de la biodiversidad).

En la etapa de variabilidad ambiental, solo sobra agua en los años húmedos, en los secos no se llega a mantener el sistema.

En la etapa donde se permite la comunicación, se consigue que el sistema se estabilice, sobrando agua ronda tras ronda independientemente de si el año es húmedo o seco.

**Figura 7.** Agua sobrante total media de todos los jugadores en las diferentes etapas.



## 5. DISCUSIÓN

Con estos resultados podemos observar el comportamiento que tiene una comunidad de regantes y su capacidad de gestionar un bien común de manera exitosa. Apoyándonos en los estudios que definen nuestros antecedentes (Anderies et al. 2013, Janssen et al. 2015, Baggio et al. 2015, Meinzen-Dick et al. 2018) podemos encontrar similitudes y diferencias si lo comparamos con nuestro experimento.

Sobre el aprendizaje social (Anderies 2012) que se produce en los experimentos, podemos observar que, en las primeras etapas, donde no se permite la comunicación, a los jugadores se les presenta una serie de problemas como la falta de agua, especialmente bajo el escenario en el que entra en juego la variabilidad climática, llegando el sistema a una situación crítica próxima al colapso en siendo los años secos. Aun así, ronda tras ronda, los jugadores comienzan a aprender que deben dejar agua sobrante año tras año, para no llegar a sobreexplotar el recurso. Una vez que entra en juego la comunicación, este aprendizaje social y la interacción entre jugadores es la clave para que ronda tras ronda todos los jugadores obtengan la misma agua, independientemente de si el año es húmedo o seco y no sólo son capaces de obtener el agua para consumo propio o el regadío, sino que también llegan a ser capaces de mantener un caudal ecológico.

Observando la acción colectiva y la inversión para mantenimiento de las infraestructuras en este sistema de riego, cuya distribución del recurso es asimétrica (de cabeza a cola) y determinante en los resultados obtenidos (Baggio, 2015) nos cercioramos de que, es frecuente que en las primeras etapas los jugadores a la cabeza del sistema no dejen pasar el agua hacia los regantes posicionados a la cola, siendo los únicos que se benefician de este sistema. Pero esto tiene una serie de consecuencias, puesto que, si los jugadores que están en la cola no obtienen nada de agua, pueden decidir no invertir en mantenimiento en las siguientes rondas, afectando a la disponibilidad de agua total en el sistema. Aquí es cuando los jugadores a la cabeza del sistema “corrigen” su comportamiento y comienzan a dejar pasar el agua hacia la cola. Esta característica estructural es un factor de peso en la determinación de los resultados que se obtienen de este. Aun así, en la etapa de comunicación, una de las variables clave para que el sistema funcione (Janssen, 2015) observamos la total creación de la acción colectiva, puesto que los parámetros de inversión se estabilizan, aumentando así las ganancias y la cantidad de agua disponible para todos los jugadores.

Esta serie de similitudes son afines y los resultados obtenidos en nuestro experimento son totalmente iguales que en los experimentos ya estudiados en nuestros antecedentes.

En cuanto a las diferencias que encontramos con los experimentos de nuestros antecedentes es que nuestro experimento no sólo se centra en el crecimiento económico y la capacidad de supervivencia de la población de regantes, sino que también se mantienen otros parámetros, como lo han sido el caudal ecológico, algo que en ningún experimento se había estudiado antes.

Podemos afirmar que la comunicación es determinante para que el sistema de riego haya tenido éxito, en el momento que ha entrado en juego esta variable, los jugadores han conseguido, mediante una estrategia previamente pactada, un sistema donde cada uno de ellos se beneficia por igual, independientemente en qué posición se encuentre y de la variabilidad climática.

Las comunidades de regantes son instituciones que gozan del reconocimiento del Estado como organizaciones con autonomía para redactar y aprobar sus estatutos y ordenanzas, y para explotar los bienes de dominio público inherentes al aprovechamiento. Históricamente los agricultores, organizados en Comunidades de Regantes, han gestionado racionalmente el agua contribuyendo a la conservación de manantiales y tierras. Estas comunidades de regantes se reúnen en Asamblea General todos los años. Ante algún imprevisto o problema convocan una Asamblea Extraordinaria. Mantienen una comunicación regular entre los miembros de las comunidades, y toman decisiones para adaptarse a la variabilidad de los recursos. Además, cuentan con mecanismos de vigilancia y de sancionamiento para minimizar las infracciones. Todo esto son características que convergen con los principios de diseño institucionales señalados por Ostrom (1990) como factores clave para el éxito en la gestión sostenible de recursos de uso común.

Los experimentos de simulación sobre los sistemas de gestión de recursos de uso común, como el desarrollado en este trabajo, permiten testar de manera experimental hipótesis sobre los efectos de variables concretas sobre el sistema de gestión del recurso (p. ej. El papel de la comunicación entre usuarios, los efectos de la variabilidad climática, etc.). Muchas de las hipótesis de interés es difícil comprobarlas por observación o experimentación con los sistemas reales por su gran complejidad, la dificultad para manipularlos experimentalmente y la escala espacio temporal en la que cambian.

Sin embargo, hay que tener en cuenta las limitaciones de estos experimentos y la simplificación en extremo que se hace de los sistemas de estudio. Estos experimentos ayudan y complementan el trabajo en campo, pero no lo sustituyen. Todo experimento debiera ser validado en campo. Ambos enfoques contribuyen a mejorar nuestro conocimiento sobre la gestión de los bienes comunes.

## **6. CONCLUSIONES**

En este trabajo hemos analizado el comportamiento de una comunidad de regantes y los dilemas sociales asociados, es el esfuerzo individual invertido en el mantenimiento de las infraestructuras comunes del sistema y las ganancias individuales. En el experimento desarrollado para este trabajo se ha analizado el comportamiento individual y colectivo de los regantes bajo diferentes supuestos, como la incertidumbre climática, la necesidad de mantener un caudal ecológico además de producir alimentos, y existencia o inexistencia de comunicación entre los usuarios del recurso.

Con comunicación los jugadores son capaces de enfrentar cualquier problema que se les avecine, como por ejemplo los años de sequía, donde la población coopera para que la repartición tanto de agua como de ganancias sean equitativas. Consiguiendo así un sistema sostenible, perdurable durante años y sin llegar a sobreexplotar el recurso.

Con ayuda de los experimentos que nos anteceden y el experimento que nosotros mismos hemos llevado a cabo, se ha realizado una simulación de algunas cuestiones clave que deben considerarse para la gobernanza de un sistema de riego en una comunidad de regantes. Dado los resultados obtenidos podemos decir que los jugadores han podido gestionar el recurso del agua y han podido mantener un sistema de riego sostenible.

El resultado más importante en este experimento en comparación a otros experimentos estudiados, es que los jugadores no sólo han obtenido agua para crecer económicamente y producir de alimentos, sino que también han logrado mantener un caudal ecológico, esencial para la conservación de la biodiversidad.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Anderies J.M., Janssen MA, Lee A., Wasserman H. 2013. Environmental variability and collective action: Experimental insights from an irrigation game. *Ecological Economics* 93: 166-176.
  
- Baggio J.A., Rollins N.D., Pérez I., Janssen M.A. 2015. Irrigation experiments in the lab: trust, environmental variability, and collective action. *Ecology and Society* 20(4):12.
  
- Finkbeiner E.M., Micheli F., Saenz-Arroyo A., Vazquez-Vera L., Perafan C.A., Cárdenas J.C. (2018). Local response to global uncertainty: Insights from experimental economics in small-scale fisheries. *Global Environmental Change* 48:151-157.
  
- Janssen M.A., Anderies J.M., Pérez I., Yu D.J. 2015. *The effect of information in a behavioral irrigation experiment. Water Resources and Economics* 12: 14-26.
  
- Meinzen-Dick R., Janssen M.A., Kandikuppa S., Chaturdevi R., Rao K., Theis S. Playing games to save water: Collective action games for groundwater management in Andhra Pradesh, India. *World development* 107:40-53.
  
- Barnaud, C., E. Corbera, R. Muradian, N. Salliou, C. Sirami, A. Vialatte, J.-P. Choisis, N. Dendoncker, R. Mathevet, C. Moreau, V. Reyes-García, M. Boada, M. Deconchat, C. Cibien, S. Garnier, R. Maneja, and M. Antona. 2018. Ecosystem services, social interdependencies, and collective action: a conceptual framework. *Ecology and Society* 23(1):15.
  
- Anderies JM, Janssen MA. (2016). *Sostenibilidad de los bienes comunes*. Center for Behavior, Institutions and the Environment, Arizona State University, USA.
  
- Cárdenas, J.C. (2009). *Experiments in Environment and Development. Annual Review of Resource Economics*. Vol 1:157-183.

- Cárdenas J.C., Maya D.L., López M.C. 2003. Métodos experimentales y participativos para el análisis de la acción colectiva y la cooperación en el uso de recursos naturales por parte de comunidades rurales. Cuadernos de Desarrollo Rural 50

-Olivos A.R. 2013. El concepto de bienes comunes en la obra de Elinor Ostrom. Ecología Política 116:121

- Pacheco-Vega, Raúl 2014. Ostrom y la gobernanza del agua en México. Revista Mexicana de Sociología 76.

- Ángel L.H 2002. Reseña de " El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de la acción colectiva" de Elinor Ostrom. Región y Sociedad vol. XIV, núm. 24.

- Camacho-Valdez V., Ruiz-Luna A. 2012. Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. Revista Bio Ciencias Vol 1:9

- Mankiw, G. 2012. Los diez principios de la economía. NG Mankiw (Sexta ed.), Principios de economía, 7-8.