

Scientific  
Journal of  
**Applied  
Social and  
Clinical  
Science**

## **“LA TEORÍA DE JUEGOS APLICADA A LA ESCASEZ DEL AGUA”**

---

*Marco Antonio Piña Sandoval*

Profesor de Tiempo completo y jefe del  
Departamento Académico de la UAEMex  
-Unidad Académica Profesional de  
Cuautitlán Izcalli

*Jorge López Martínez*

Profesor Investigador Candidato a SNI, FES  
Acatlán (UNAM)

*Fermín Leonel Reyes*

Profesor de Tiempo Completo de la UAEMex

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



**Resumen:** La finalidad del trabajo es mostrar, mediante la teoría de juegos, en particular la aplicación del dilema del prisionero en un juego cooperativo, el problema que enfrenta la Comarca Lagunera, específicamente Cuatro Ciénegas, donde el conflicto radica en el uso irracional de un bien público: la preferencia industrial en la extracción del agua en esta zona.

**Palabras claves:** Dilema del prisionero, tragedia de los bienes comunes, lógica de la acción colectiva, agua, teoría de juegos.

## INTRODUCCIÓN

La problemática del agua en nuestros días es cada vez más importante debido al agotamiento paulatino que se ha dado en los últimos años, lo que ha convertido el tema del agua en asunto de seguridad nacional en varios países del mundo.

En el presente trabajo se analiza el problema del agua en Cuatro Ciénegas, Coahuila, México; lugar sui géneris por su ubicación en medio del desierto y por la valiosa aportación de datos para la explicación del origen de la vida en nuestro planeta y donde se ha exacerbado el problema de la escasez del agua a raíz de la reconversión productiva que se realizó, creándose la empresa lechera más importante de México.

La problemática se centra en el uso del agua por parte de la empresa y por la comunidad de Cuatro Ciénegas. Se lleva a cabo su análisis a través de teoría de juegos, respaldándolo en un marco conceptual que involucra concepciones primordiales en el tema como son el teorema del gorrón o free Ryder, la tragedia de los comunes, las hipótesis Maltusianas, entre otras. Douglas North nos proporciona el marco institucional a nuestra problemática, así como respalda la importancia de la ideología en este tipo de cuestiones para minimizar los costos de transacción. Ostrom nos propone un juego donde los jugadores establecen contratos

entre ellos a fin de establecer estrategias de cooperación con el fin de minimizar costos de transacción y por tanto incrementar el beneficio obtenido por los jugadores. Coase aporta un punto de vista un tanto distinto, al proponer la creación de mercados eficientes que minimicen los costos de transacción y permitan el cuidado de los recursos naturales.

Posteriormente se hace un pequeño análisis de la esencia que entraña el tan ya famoso *dilema del prisionero*, el cual nos sirve de herramienta esencial en este trabajo. Se pasa inmediatamente a su aplicación en el problema que nos ocupa, estableciendo los elementos esenciales del juego (jugadores, estrategias y estructura de pagos), obteniendo así el equilibrio de Nash en estrategias puras en un juego no cooperativo y se demuestra como en un juego cooperativo con estrategias puras el equilibrio de Nash es óptimo.

## ANTECEDENTES

Con el desarrollo de la literatura que aplica la teoría de juegos a cuestiones de historia económica, tal como lo hace Greif (2002), quien encontró en la teoría de juegos una herramienta analítica que le permitió clarificar las razones económicas subyacentes a hechos históricos (Ferrer, 2004). El ejemplo más conocido probablemente sea la modelización de las relaciones de agencia entre los judíos magrebíes del siglo XI a través del Dilema del Prisionero jugado en una población de forma repetida (Greif, 1989, 1993). Otro ejemplo destacado es el análisis del cártel de ferrocarril conocido como *Joint Executive Committee* a finales del siglo XVIII en los Estados Unidos (Porter, 1983 y Ellison, 1994).

Lo cierto es que, lo más cercano a las pretensiones de este trabajo lo encontramos en los aportes de Robert Axelrod en "The Emergence of Cooperation Among Egoist, The Evolution of Cooperation y Modeling The Evolución of Norms". Donde propone la

idea evolutiva de la cooperación para resolver problemas del tipo del Dilema del Prisionero por medio de secuencias de acciones cooperativas en primeras y segundas vueltas.

Con base en las ideas presentadas por Axelrod, Elinor Ostrom en *El Gobierno de los bienes comunes* y retomando el artículo de Garret Hardin sobre *la tragedia de los bienes comunes*, se aplica a la problemática de Cuatro Ciénegas.

Por último, encontramos en Douglas North (2006) un pequeño apartado, pero muy enriquecedor trabajo sobre la cooperación, y un claro ejemplo del uso de la teoría de juegos como herramienta útil en el análisis de la economía y de la historia económica.

## PROBLEMÁTICA

El Consejo de Agua Mundial (World Water Council), señala que para el siglo XXI se identifican seis grandes retos relacionados con el agua: la escasez, la falta de acceso, el deterioro de su calidad, la toma de conciencia de los tomadores de decisiones y del público, la disminución en la asignación de recursos financieros y la fragmentación en su manejo. Estos retos son muy complejos, ya que la disponibilidad de agua no está distribuida de manera homogénea en las diferentes zonas del planeta.

En México, el problema de escasez de agua se ha ido agravando en las décadas recientes, a tal grado que las demandas por el recurso surgen a tasas crecientes y, en algunos casos, se comienzan a manifestar de manera violenta. El crecimiento económico en México ha ocurrido sin tener en cuenta plenamente las señales de escasez de agua. La concentración de la población y la actividad económica han creado zonas de alta escasez, no sólo en las regiones de baja precipitación pluvial, sino también en zonas donde eso no se percibía como un problema al comenzar el crecimiento urbano o el establecimiento de la agricultura

de riego. Tan sólo para ilustrar la escasez de agua subterránea, 101 acuíferos de un total de 653 están sobre explotados. El crecimiento poblacional y económico ha ejercido mayor presión sobre las reservas de agua en México (CONAGUA, 2012). La competencia por el recurso es ya causa de conflictos de diferente intensidad y escala: se presenta no sólo entre usuarios de la misma comunidad, sino entre distintas comunidades, municipios, estados e incluso en el ámbito transfronterizo.

La Global Water Partnership define la gestión integral de los recursos hídricos como un “proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinado del agua, de la tierra y de los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultantes de una forma equitativa y sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales” (World Water Forum, 2000).

Un conflicto ambiental es una modalidad de conflicto social, que trata precisamente cuestiones relacionadas a la calidad ambiental de vida. Los conflictos ambientales (entre ellos los hídricos) son disfunciones sociales, cuyo eje de discusión pasa por la realidad o la potencialidad de provocar daños ambientales a los colectivos sociales involucrados y afectados, debido al ejercicio de ciertas actividades o la ejecución de ciertos planes, programas o proyectos (Roemer, 2000). Los conflictos ambientales nacen y giran en torno a los impactos de obras o actividades, cuyas consecuencias directas o indirectas podrían afectar la calidad de vida de las personas. Puede provenir de causas naturales o antrópicas, por ejemplo, malas prácticas agrícolas. Posee causas antrópicas solamente cuando hablamos de procesos sociales. Puede perdurar largos periodos de tiempo afectando comunidades, ocasionando impactos ambientales, pero si no existe como mínimo una respuesta por parte de las comunidades

afectadas y un reconocimiento “del otro” por parte del resto de los actores intervinientes, entonces no podemos hablar de un conflicto ambiental.

La presencia y el accionar del Estado son indiscutibles cuando aparecen conflictos cuyas consecuencias trascienden a la comunidad y existe un interés colectivo nítido en su resolución. En los casos civiles y comerciales ello no es así, el beneficio social es mucho más indirecto y menos nítido, y el uso de la fuerza más distante y eventual. Ciertamente es que a toda la comunidad le interesaría que quien es moroso en sus obligaciones pueda ser obligado a pagarlas, pero le es bastante indiferente que esto se logre a través de una acción directa del Estado o por otros medios. En otros términos, en el común de los casos civiles y comerciales se estaría ante bienes puramente privados y, existiendo en el mercado otras alternativas para proveer ese bien (mediación y arbitraje, este último ya sea directamente o ante el caso de no haber acuerdo), no existiría razón alguna para que el Estado en forma indiscriminada lo produjera y proveyera. Es decir, no habría razones para que el Estado colocara funcionarios públicos para resolver estos casos y para que financiara el funcionamiento de este sistema, estableciendo su gratuidad.

## **EL CONFLICTO DEL AGUA EN CUATRO CIÉNEGAS, COAHUILA, MÉXICO**

El conflicto existe debido a que no están claros los derechos de propiedad, no está bien definido quién es propietario de qué. La Ley de Aguas Nacionales establece que, en caso de escasez del líquido, se debe dar prioridad a la población, luego a los animales y finalmente a la industria (CNA, 2002). Pero en este caso, los ranchos cuentan con permiso para la explotación de pozos, mientras que los habitantes de Cuatro Ciénegas sólo tienen el

servicio de agua en la madrugada.

El oasis de Coahuila se está secando. Investigadores afirman que los cultivos de alfalfa se riegan con un mar jurásico que tiene información biológica sobre el origen de la vida en la Tierra que podría aclarar dudas sobre la vida en otras partes del universo. Mientras no haya quien se tome la molestia de cumplir con los requisitos necesarios en la autorización de pozos para la extracción racional y regulada de agua nuestros mantos acuíferos, que antes fueron bastos, serán meras cavernas en espera de precipitación y afluentes para llenarse mientras en la superficie una transformación ecológica paulatina y brutal sucederá por la falta del vital líquido: disminución gradual de la vegetación, de la flora y fauna, de la ganadería y pastoreo, de la población humana que migrará hasta encontrar su sustento vital. La percepción es generalizada entre la población: el agua de Cuatro Ciénegas se acaba y culpan de ello a las empresas lecheras de la Región Lagunera debido a los grandes volúmenes de líquido que se extraen en los ranchos productores de alfalfa.

## **HISTORIA DE LA REGIÓN**

La región de la comarca lagunera vivió un proceso de reestructuración productiva ocurrido en el espacio regional del norte de México a mediados del siglo XX. Sustentada desde fines del XIX en la agricultura especializada y en la agroindustria, la comarca algodonera de La Laguna debió enfrentar años después de la Segunda Guerra Mundial un severo proceso de transformación que supuso: a) mecanismos productivos nuevos; b) reorientación de las actividades empresariales; c) decisivas innovaciones tecnológicas; d) búsqueda y ocupación de nuevos mercados; e) diferentes mecanismos de asociación entre los productores; f) y firme presencia institucional. Con tales herramientas se construyó en un área semiárida la cuenca

lechera más importante del país. Al cabo de este proceso (mediados de la década de los 70) este espacio regional estaba en condiciones de alumbrar, por su misma dinámica, una de las más poderosas empresas agroalimentarias del México actual: el grupo Lala.

Como podrá observarse el problema observado entre la comunidad y la empresa agroalimentaria, requiere de una propuesta de tipo colectivo que dé solución al mismo.

## MARCO TEÓRICO

Al estudiar la relevancia que tiene la estructura de derechos de propiedad de los recursos naturales para el desarrollo de una gestión óptima de los mismos, es necesario determinar las diferencias existentes entre los distintos tipos de recursos desde el punto de vista de su agotamiento.

En efecto, hay algunos recursos que no precisan ser gestionados de ninguna manera especial para poder asegurarnos su utilización de manera indefinida a lo largo del tiempo, como la energía solar, la energía eólica, etc. Independientemente de que en un momento dado del tiempo los utilicemos o no, este hecho no merma la posibilidad potencial de su uso en periodos posteriores.

En este tipo de recursos *flujo*, no obstante, es relevante la eficiencia en su uso para aprovecharlos del modo más productivo y menos costoso –monetaria y ambientalmente–.

En ellos no existe una propiedad exclusiva establecida –la energía del sol no es de nadie y al mismo tiempo es de todos–. Aunque algunas utilidades no precisan de ningún instrumento o medio para su uso y están disponibles para todos –tomar el sol en la playa, aprovechar el sol que entra por la ventana para calentar nuestras casas en invierno o simplemente para poder ver durante el día–, su aprovechamiento a otro nivel estará limitado a la propiedad de los medios necesarios al efecto –placas solares, explotaciones agrarias, molinos de

viento, etc.– La propiedad relevante, en este caso, reside en los medios de utilización y no en el propio recurso.

Los recursos *fondos* son aquellos de los que recibimos un flujo más o menos periódico, que podemos acumular para utilizarlo posteriormente, como el agua que embalsamos. La energía solar, mencionada anteriormente como un recurso flujo, si es acumulada para uso ulterior gracias a placas solares e instrumentos acumuladores de energía se convierte en un recurso fondo. De nuevo la propiedad del recurso será fundamental para que su uso sea “sostenible”. Ahora bien, estos recursos *fondos*, tienden a presentar problemas de mayor grado conforme la población crece. Quizás el resumen más sencillo del problema de la población humana es el siguiente: los recursos comunes, si acaso justificables, lo son solamente bajo condiciones de baja densidad poblacional. Conforme aumenta la población humana se ha tenido que abandonar este esquema.

Al sumar todas las utilidades parciales, el pastor racional concluye que la única decisión sensata para él es añadir otro animal a su rebaño, y otro más, y otro más... Esta es la conclusión a la que llegan todos y cada uno los pastores sensatos que comparten recursos comunes. Y ahí está la tragedia. Cada hombre está encerrado en un sistema que lo impulsa a incrementar su ganado ilimitadamente, en un mundo limitado. La ruina es el destino hacia el cual corren todos los hombres, cada uno buscando su mejor provecho en un mundo que cree en la libertad de los recursos comunes. La libertad de los recursos comunes resulta la ruina para todos.

La lógica de los recursos comunes ha sido entendida por largo tiempo, quizás desde la invención de la agricultura o de la propiedad privada en bienes raíces. Pero ha sido comprendida principalmente en casos específicos que no son suficientemente

generalizables. Incluso en nuestros días, ganaderos que rentan tierras nacionales en el Oeste demuestran apenas una comprensión ambivalente al presionar constantemente a las autoridades federales para que incrementen el número de cabezas autorizadas por área hasta un punto en el cual la sobreexplotación produce erosión y dominio de malezas. De manera similar, los océanos del mundo continúan sufriendo por la supervivencia de la filosofía de los recursos comunes. Las naciones marítimas todavía responden automáticamente a la contraseña de “la libertad de los mares”. Al profesar la creencia en los “inagotables recursos de los océanos”, colocan cerca de la extinción, una tras otra, a especies de peces y ballenas.

Los parques nacionales son otra instancia donde se muestra la forma en que trabaja la tragedia de los recursos comunes. En el presente se encuentran abiertos para todos, sin ningún límite. Los parques en sí mismos tienen una extensión limitada —sólo existe un Valle de Yosemite— mientras que la población parece crecer sin ningún límite. Los valores que los visitantes buscan en los parques son continuamente erosionados. Es muy sencillo, debemos dejar de tratar a los parques como recursos comunes... o muy pronto no tendrán ningún valor para nadie.

De manera inversa, la tragedia de los recursos comunes reaparece en los problemas de contaminación. Aquí el asunto no es sacar algo de los recursos comunes, sino de ponerles algo dentro —drenajes o desechos químicos, radioactivos o térmicos en el agua; gases nocivos o peligrosos en el aire; anuncios y señales perturbadoras y desagradables en el panorama—. Los cálculos de los beneficios son muy semejantes a los antes mencionados. El hombre razonable encuentra que su parte de los costos de los desperdicios que descarga en los recursos comunes es mucho menor que el costo de purificar sus desperdicios antes de

deshacerse de ellos. Ya que esto es cierto para todos, estamos atrapados en un sistema de “ensuciar nuestro propio nido”, y así seguirá mientras actuemos únicamente como libres empresarios, independientes y racionales.

La tragedia de concebir a los recursos comunes como una canasta de alimentos se desvirtúa con la propiedad privada, o con algo formalmente parecido. Pero el aire y el agua que nos rodean no se pueden cercar fácilmente, por lo que la tragedia de los recursos comunes al ser tratados como un pozo sin fondo debe evitarse de diferentes maneras, ya sea por medio de leyes coercitivas o mecanismos fiscales que hagan más barato para el contaminador el tratar sus desechos antes de deshacerse de ellos sin tratarlos.

El problema de la contaminación es una consecuencia de la población. En un principio no importaba mucho la forma en que un solitario pionero americano liberara sus desechos. Pero conforme la población se ha hecho más densa, los procesos naturales de reciclado, tanto biológicos como químicos, están ahora saturados y exigen una redefinición de los derechos de propiedad.

¿Qué debemos hacer? Tenemos varias opciones. Podemos venderlos como propiedad privada. Podemos mantenerlos como propiedad pública, pero asignando adecuadamente quien ha de entrar. Esto debe ser con base en la riqueza, a través del uso de un sistema de adjudicación. También podría hacerse con base en méritos definidos por estándares acordados. O podría ser por sorteo. O bien ser con base en el sistema de que el primero que llega entra, administrado a partir de filas. Estos, creemos, son procedimientos objetables. Pero entonces debemos escoger entre consentir la destrucción de nuestros recursos comunes o adoptar alguno de los esquemas mencionados.

Los recursos naturales de libre acceso son aquellos que pueden ser utilizados o

consumidos por cualquier agente económico sin ningún tipo de limitaciones derivadas de la presencia de derechos de propiedad (Ostrom, 2000). Resulta entonces importante no olvidar que cada nueva restricción en el uso de los recursos comunes implica restringir la libertad personal de alguien. Las restricciones impuestas en un pasado distante son aceptadas porque ningún contemporáneo se queja por su pérdida. Es a las recientemente propuestas a las que nos oponemos vigorosamente; los gritos de “derechos” y de “libertad” llenan el aire. Sin embargo, para no caer en la tragedia de los comunes, en el agotamiento acelerado de nuestros recursos naturales, se torna necesario la creación de restricciones que ayuden a su preservación. Una parte esencial de las restricciones que constituyen las instituciones son las normas de comportamiento morales y éticas. La ideología no es lo mismo que la moral nos aclara North (1994), dado que la primera incluye una forma comprensiva de entender el mundo y actúa para economizar los costes de información; la ideología incorpora, sin embargo, un juicio de valor sobre la justicia o limpieza de las instituciones y de forma particular de las relaciones de intercambio. La ideología del consenso es, por lo tanto, un sustituto de las reglas formales y de los procedimientos de cumplimiento de estas. Además, la evolución en la apreciación individual sobre la justicia o injusticia de las relaciones de intercambio modifica la ideología; por lo tanto, los costos de hacer cumplir y respetar las reglas también se modifican.

Los problemas derivados del uso de los bienes comunes pueden modelarse a partir de teoría de juegos. Según North, los jugadores en el juego son todos los agentes económicos como tales, es decir, consumidores y productores en la economía. Las reglas del juego están determinadas por las instituciones, las cuales las definen, con el fin

de reducir la incertidumbre de la economía y por tanto minimizar los costos de transacción que se generan en la misma (North, 2006). Por otra parte, Ostrom (2000), propone un juego donde es posible establecer contratos vinculantes entre todos los jugadores y que los obliga a cumplir con los acuerdos iniciales y con estrategias de cooperación formadas por ellos mismos.

## CONCLUSIÓN

La preocupación generada por la cada vez mayor escases del agua, ha puesto en la mesa de discusión el tema del cuidado y preservación de los recursos comunes trayendo a colación los tres modelos más importantes que abordan la problemática: la tragedia de los comunes, el dilema del prisionero y la lógica de la acción colectiva.

El resultado al que arriba el presente trabajo con la aplicación de la teoría de juegos como instrumento de análisis, es de gran importancia ya que demuestra que si la comunidad de Cuatro Ciénegas en particular y todas las comunidades que se encuentran en situación análoga en general, cooperaran con las empresas cuyo insumo principal es el agua, pueden obtenerse resultados mejores para ambos jugadores (usuarios del bien), que en el caso de no cooperar entre ellos para el cuidado del agua. La mejora de los resultados de la cooperación entre ambos consumidores se presenta de dos maneras: en un menor pago por el uso racional del recurso y en la conservación de éste. El cobro del recurso según la proporción de la utilización de éste es el esquema de incentivos que permite evitar el desperdicio por parte de los agentes consumidores.

En México, la mayoría de las tarifas responde de forma escalonada, en donde los consumos más bajos tienen un costo menor por metro cúbico suponiendo que las familias de bajos ingresos consumen menor cantidad

de agua potable por familia. El resultado se encuentra acorde con el sistema de mercado: a mayor consumo, mayor precio.

De lo anterior, es importante señalar que el mercado como tal no opera, como mecanismo de asignación de los recursos hídricos en México, esto es, en la determinación de los precios no existe un mercado para el agua y, por tanto, éste no es una vía de reasignación entre los principales agentes económicos.

## REFERENCIAS

Binmore, K. (1994). *Teoría de Juegos*, Madrid: McGraw-Hill.

Coase, R. (1960). "The Problem of Social COSAT", *Journal of Law and Economics*, October, 3(1), pp. 1-44.

Comisión Nacional del Agua, (2002). "Compendio Básico del Agua", México: CNA.

-----, (2012), "Atlas del Agua en México 2012", México: SEMARNAT.

Constantino, T. R. (2006) (Coordinador). *AGUA- Seguridad Nacional e Instituciones conflictos y riesgos para el diseño de políticas públicas*, Universidad Autónoma Metropolitana- Unidad Xochimilco.

Ferrer, C. (2004). "Teoría de juegos e historia económica: una simbiosis necesaria", *Revista Historia empresarial*, No. 812.

Gardner, R. (1996). *Juegos para Empresarios y Economistas*, Antoni Bosh.

Gibbons, R. (1993). *Un Primer Curso de Teoría de Juegos*, Antoni Bosh.

Hardin, G. (1968). "The Tragedy of the Commons", *Science*, Vol. 162 (1968), 1243-1248.

Ostrom, E. (2000). *El gobierno de los bienes comunes*. La evolución de las instituciones de acción colectiva, México: Fondo de Cultura Económica.

North, D. (2006). *Instituciones, Cambio Institucional y Desempeño Económico*, México: Fondo de Cultura Económica.

Roemer, A. (2000). *Derecho y economía. Políticas públicas del agua*, México: CIDE/Miguel Ángel Porrúa.

Saade, L. (2001). "El caso del sector de agua en México", documento presentado en el Seminario El desafío para las políticas públicas de las reformas de segunda generación, México: ITAM.

Semarnat, "Programa Hidráulico 2000-2006", <http://www.semarnat.gob.mx/programas/hidraulico.shtml>