



UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL ESTADO DE PUEBLA

Maestría en Economía Aplicada

Asignación eficiente del recurso hídrico mediante diseño de mecanismos y teoría de juegos  
entre la comunidad de San Antonio Cuanixtepec del Estado de Puebla y la Hidroeléctrica  
Nacional

TESIS

Para optar el título de Maestra en Economía Aplicada

Carolina Vargas Vanegas

Estudiante

Dr. Damián Emilio Gibaja Romero

Director de Tesis de grado

Puebla, Pue. Enero 01 de 2022



**UPAEP – Secretaría General**

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

**Tesis Digitales Restricciones de uso:**

**DERECHOS RESERVADOS ©**

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Tabla de Contenido

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| .....                                              | 1  |
| RESUMEN .....                                      | 3  |
| Palabras clave: .....                              | 4  |
| 1.  CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....   | 4  |
| 1.1.  Problema .....                               | 4  |
| 1.2.  Objetivo general.....                        | 6  |
| 1.3.  Objetivos específicos .....                  | 6  |
| 1.4.  Hipótesis .....                              | 6  |
| 1.4.1. Pregunta de investigación general .....     | 7  |
| 1.4.2. Preguntas de investigación auxiliares ..... | 7  |
| 1.5.  Justificación .....                          | 7  |
| 1.6.  Viabilidad de la investigación.....          | 7  |
| 1.6.1. Limitaciones .....                          | 8  |
| 1.6.2. Alcance .....                               | 8  |
| 2.  CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL.....            | 8  |
| 2.1.  Mecanismos centralizados .....               | 9  |
| 2.2.  Diseño de mercados .....                     | 10 |
| 2.3.  Mecanismos de Mercado .....                  | 11 |
| 2.4.  Bienes públicos .....                        | 12 |
| 3.  CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....                | 13 |
| 3.1.  Enfoque metodológico .....                   | 13 |
| 3.2.  Población y características.....             | 13 |
| 3.2.1. Núcleo de un Juego Cooperativo.....         | 15 |
| 4.  CAPITULO IV. RESULTADOS .....                  | 16 |
| 4.1.1. El Valor de Shapley.....                    | 17 |
| CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES .....                    | 28 |
| 5.  REFERENCIAS .....                              | 29 |

## RESUMEN

En las zonas rurales se ha observado como la industria hace uso de una gran cantidad de recursos hídricos, situación que limita el acceso al agua de las comunidades que allí habitan. Otro de los factores a tener en cuenta es la frágil regulación en el uso de dichos recursos permitiendo la sobre explotación de éstos lo que a su vez ha tenido un impacto negativo en la calidad de los mismos. En otras palabras, la asignación de recursos hídricos nos es justa para su acceso y además es ineficiente respecto al mantenimiento y su calidad.

Otro punto importante es cuando el agua se usa como insumo y provisión de grandes cantidades de bienes y servicios económicos (Llop, 2018). En apoyo a este mercado Klink (2018) menciona: i) El agua como factor de producción que bajo un marco institucional el costo de extracción del recurso hídrico va a depender que tan eficiente sea; ii) El agua como activo financiero se considera un recurso no renovable y es un activo financiero ya que en el agotamiento óptimo desde el punto de la perspectiva del propietario-extractor es rentable y similar a otros activos financieros que soportan el mismo tipo de riesgo y iii) El agua como activo eco-social satisface un conjunto de funciones económicas, sociales y ambientales, tanto de carácter cuantitativo como cualitativo.

Para el desarrollo de este proyecto se ha seguido la teoría del diseño de mercados para generar asignaciones hídricas que resuelvan los problemas anteriores. Por ejemplo, Li et al., (2020) muestran como las compensaciones económicas, sociales y de medio ambiente en sistemas agrícolas pueden ser elaboradas mediante teoría de juegos. De igual manera, en la región central del desierto de Irán se muestra la asignación de recurso hídrico para maximizar el crecimiento económico laboral debido a las restricciones naturales (Davijani, Banihabib, Anvar, y Hashemi, 2016). Adicionalmente, puesto que la cuenca del Río Bravo en Estados Unidos afecta el desarrollo económico de la comunidad Duran-Encalada, Paucar-Caceres, Bandalaa, Wright (2017) propone un juego cooperativo entre los agentes económicos se puede llegar a una conciliación que beneficie a agricultores y empresarios.

Algunos países han adoptado políticas públicas en función del ahorro del agua con la intención de conservar la calidad con una disposición eficiente (Asprilla, 2020). En el casco urbano estas políticas deben amparar la protección del recurso natural.

Particularmente, Yu et al. (2017) sostienen que una asignación eficiente del suministro de agua existente es necesaria a medida que crece la demanda y se intensifican las competencias entre los usuarios. Además Li, Fu, Singh, Liu, y Gong (2020) informan que para el riego de extensiones agrícolas la asignan recursos hídricos agrícolas son limitados.

La aportación principal del presente trabajo radica en proporcionar un mecanismo justo y eficiente de los recursos hídricos basado en un juego cooperativo en el que se genera una propuesta de asignación de los recursos hídricos para el sector localizado en la comunidad de San Antonio Cuanixtepec y cuya intención analiza las necesidades de esa población junto a la Hidroeléctrica nacional.

Este enfoque puede equilibrar simultáneamente los beneficios, sanciones y riesgos esperados de la asignación de agua agrícola, y puede abordar las incertidumbres del suministro y la demanda de agua agrícola en forma de distribuciones de probabilidad e intervalos con límites aleatorios. La base de datos es construida de manera simulada y permite conocer el Valor de Shapley, tomando algunos datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en relación a los recursos acuíferos como la velocidad de recuperación y el consumo que hace la Industria nacional.

### **Palabras clave:**

Valor de Shapley, Diseño de mercado y Asignación eficiente de agua.

## **1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Problema**

El agua es un recurso necesario para satisfacer las necesidades básicas de la población y la generación del desarrollo de actividades productivas. Dada la desigual distribución geográfica de este recurso, la asignación eficiente del agua en la agricultura es necesaria debido a su escasez y a las múltiples actividades en las que se utiliza. Por ejemplo: arreglos espaciales y temporales en cultivos, diversificación, rotación, uso de la punta de riego, así como arreglos de préstamos y compra de agua, distribución del agua por tandas y faenas para limpieza de canales. Pérez, Macías, y Gutiérrez (2019) muestran

aciertos y limitaciones en la forma como los productores atienden la escasez de agua pues la infraestructura y el funcionamiento de los sistemas de riego no son del todo eficientes. Es decir, hay evidencia de un mal uso de los recursos hídricos, lo cual hace indispensable la intervención del gobierno en dicho mercado.

Cabe mencionar que esta problemática es un fenómeno que se presenta tanto en países desarrollados como en desarrollo, como lo es el caso de China. Li et al. (2020) explican como la agricultura china enfrenta desafíos como la baja eficiencia en la utilización de los recursos hídricos y la reducción del suministro de agua. Otra problemática de los recursos hídricos radica en garantizar su consumo sostenible y eficiente. En esto último, el reto se centra en la distribución desigual de recursos, como ocurre en Egipto (Luo, et al., 2020). En este último país queda manifiesta la necesidad de generar reformas a las políticas del agua debido a los desafíos e implicaciones para la gobernanza y la gestión sostenible del agua.

Tomando en cuenta lo que dice Ocampo-Fletes, Parra-Inzunza, y Ruiz-Barbosa, (2018), el volumen apropiado de consumo por cada familia y actividad económica difiere en función de la disponibilidad de recursos materiales, económicos y humanos, provocando desigualdad social. En el caso agrícola, Luna, Hernández, y Dámazo (2018) mencionan que el cultivo depende del manejo del agua o del sistema de riego ya que, si hay exceso en límites de coliformes fecales, sulfatos y sólidos totales el cultivo puede ser considerado una restricción el sistema agrícola actual por las pérdidas que pueda afrontar la comunidad.

Otro factor a tener en cuenta es la presencia de empresas extractoras del agua, como son las empresas hidroeléctricas, que pretenden a través del recurso hídrico llevar a cabo actividades productivas. De no realizarse lo anterior desde una perspectiva cooperativa, como lo mencionan Gu, et al., (2021), se puede generar una serie de conflictos asociados al acceso, distribución y mantenimiento de los recursos hídricos. Notemos que estos problemas se pueden resolver con el uso de los juegos cooperativos para generar una asignación eficiente del agua.

Así la comunidad que se está trabajando y la empresa hidroeléctrica en cuestión pueden sopesar esta problemática. El presente trabajo considera el problema de asignar recursos de manera justa y eficiente en una comunidad rural que comparte recursos hídricos

con empresas. Nos enfocamos en el caso de la comunidad del municipio de Hermenegildo Galeana del Estado de Puebla para solucionar la escasez de agua y la falta de organización; de esta manera, con este mecanismo se pretende fomentar el desarrollo económico de la región de una manera justa y eficiente.

Dada la escasez de los recursos hídricos y su desigual distribución, la teoría económica le ha dedicado especial atención a los mecanismos de asignación de dicho recurso pues una mala asignación tiene un impacto negativo en el bienestar de las sociedades, esta investigación muestra el conjunto de posibles soluciones para la distribución eficiente de agua que en concordancia con Nicholson y Snyder (2014); por este motivo se establecen acuerdos o coaliciones entre los jugadores para evitar el desperdicio de recursos y asignaciones injustas por lo que se continua con la estructura del Valor de Shapley que muestra cómo se debe realizar una asignación justa y eficiente a partir de las necesidades de los agentes y al mismo tiempo que evitar la sobreexplotación del agua.

## **1.2.Objetivo general**

Proponer un diseño de mercado para la reasignación justa y eficiente de recursos hídricos de comunidades agrícolas vecinas a nivel general, por ello se puede tomar como caso de estudio la comunidad agrícola de San Antonio de Cuanixtepec, ubicada en el municipio de Hermenegildo Galeana del Estado de Puebla de los Estados Unidos Mexicanos.

## **1.3. Objetivos específicos**

- Establecer la interacción de agentes como un modelo de diseño de mercados.
- Reasignar los recursos hídricos por medio del Valor de Shapley.
- Simular un mercado de preferencias que asignen de manera eficiente los recursos hídricos mediante el modelo propuesto.

## **1.4. Hipótesis**

El diseño de mercado genera un mecanismo de asignación justo y eficiente de recursos hídricos mediante la teoría de Juego Cooperativos para en el municipio de Hermenegildo Galeana del Estado de Puebla para la comunidad de San Antonio de Cuanixtepec.

#### **1.4.1. Pregunta de investigación general**

¿Cómo se reasignan los recursos hídricos a partir del diseño de mercados de manera justa y eficiente en el municipio de Hermenegildo Galeana del Estado de Puebla para la comunidad de San Antonio de Cuanixtepec?

#### **1.4.2. Preguntas de investigación auxiliares**

- ¿Qué establece la interacción de agentes y el modelo de mecanismo de diseño para organizar la información de los agentes económicos como un juego cooperativo?
- ¿Cómo se reasignan los recursos hídricos por medio del Valor de Shapley?
- ¿De qué manera se puede simular un mercado de preferencias que asignen de manera eficiente los recursos hídricos mediante el modelo propuesto?

#### **1.5. Justificación**

La importancia de asignar agua en forma justa y eficiente para su consumo y uso, como lo menciona la Organización Munidal de la Salud (2021), está dada por la necesidad de proteger la salud de sus habitantes evitando enfermedades como diarrea, arsenicosis, fluorosis, y así evitar una problemática de salud política pública y por tanto la migración de la comunidad rural. De igual manera, la comunidad San Antonio Cuanixtepec mantiene en buenas condiciones el agua del río Ajajalpan que es empleado para actividades agrícolas y de uso potable, por este motivo la empresa Hidroeléctrica Nacional interesada en acceder al recurso hídrico debe implementar un diseño de mecanismos con base en juegos cooperativos para protección y amparo del agua de la comunidad.

#### **1.6. Viabilidad de la investigación**

### **1.6.1. Limitaciones**

La dificultad para realizar un trabajo de campo debido a la pandemia COVID-19 y la falta de presupuesto muestran la opción de trabajar el Valor de Shapley a través de una base de datos simulada que permite conocer el problema de manera numérica, por lo que no es posible contrastarla con bases de datos reales. Otra de las limitantes es la carencia de datos públicos ya que algunas entidades no comparten esta información de manera detallada.

### **1.6.2. Alcance**

Esta investigación espera dar a conocer cómo se puede evitar la sobreexplotación del recurso hídrico en la comunidad de San Antonio de Cuanixtepec como también favorecer la conservación de las tradiciones y riqueza cultural ya que se evita la migración de sus habitantes mediante la asignación eficiente de recursos hídricos. Entonces, reforzando este procedimiento, las comunidades que deseen adaptar estas asignaciones de tipo eficiente para el recurso hídrico estarán apoyando de manera directa la creación de políticas públicas que benefician no solo a sus habitantes, sino que también a su entorno.

Esta investigación también tiene un sentido social y cultural ya que, con la intención de proteger y cuidar el uso de los recursos naturales y concientización de estos el agua puede conservarse desde una perspectiva económica más sustentable. Por lo que la metodología a emplear espera mostrar la disminución en la problemática planteada de manera inicial pues al encontrar la mejor respuesta a la asignación eficiente de los recursos hídricos por parte de los agentes económicos se da respuesta a la pregunta de investigación.

## **2. CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL**

En esta sección la investigación aborda el marco teórico como referencia para la distribución de recursos entre agentes económicos con diferentes preferencias; por lo que revisar los diferentes mecanismos existentes se evidencia como el bienestar social puede verse afectado por la forma como se distribuyen dichos recursos. Estudios empíricos y teóricos sobre el agua como bien económico se pueden clasificar en tres enfoques para su asignación: mecanismos centralizados, estratégicos y de mercado. Así, la intención es

promover definiciones y conceptos que generen un acuerdo cooperativo que permita aproximarse a una realidad que beneficie y muestre sus preferencias.

Adicional a lo anterior, es importante enfatizar el uso del óptimo de Pareto como concepto de solución pues este se alcanza cuando la mejora de un sistema económico y el bienestar de alguno de sus individuos es a costa de empeorar el bienestar de otros. Calatrava y Gómez-Limón (2016) definen la eficiencia de la siguiente manera: i) Consumo; ii) Oferta de factores de producción; iii) Uso de insumos y iv) Producción. Entonces, de manera general, cada país enfrenta diferentes escenarios en relación a la Economía del Agua. Por ejemplo, Israel tiene acceso a solamente a dos fuentes hídricas, mientras que Canadá no carece de escasez del agua debido a su baja demografía.

### **2.1.Mecanismos centralizados**

A los mecanismos centralizados se les puede decir que están enfocados en los factores de producción que el Estado controla, por lo que para el concepto de programación fraccional puede resolver problemas de optimización en los cuales la función objetivo toma la forma de un cociente que está sujeto a unas restricciones específicas. Entonces, el enfoque de programación fraccional lineal multiobjetivo de dos niveles (BMLFP) optimiza la estructura de consumo de agua basada en el riesgo de escasez de agua (Wang et al., 2019). Este modelo mejora el método de programación convencional al integrar el riesgo de escasez de agua y logra una mejor gestión del sector agrícola, industrial, doméstico y ecológico en los tramos medios de la cuenca del río Heihe ubicado al noroeste de China. También, Zhang et al., (2020), en este caso emplean el Método de programación fraccional para optimizar la asignación de recursos hídricos y el control de la salinidad del suelo.

Otro modelo similar se aplica en la cuenca del río Amu Darya, que abarca los países de Afganistán, Tayikistán, Uzbekistán y Turkmenistán ya que pretenden la asignación de agua mediante una trasnacionalidad y los resultados que muestran son los siguientes: i) Aumento de la disponibilidad y suministro de agua; ii) Eficiencia del riego; iii) Cultivos con tolerancia a la sequía. Por su parte, Singh, Panda, y Yasuda (2015) desarrollan un modelo de programación lineal para mejorar la coordinación entre los sectores que extraen agua del río Mahanadi en el este de India; este modelo establece un balance entre aguas subterráneas y evapotranspiración y a la vez, el análisis de sensibilidad correspondiente

indica que tanto se puede variar la solución sin alterar el resultado óptimo, el cuales estima en emplear 87% de agua superficial y 13% de agua subterránea para una política de asignación de agua sostenible.

Según los investigadores Ghosh et al., (2017), la gestión de la cuenca del río Santa Cruz debe ser transfronteriza pues abarca Arizona (Estados Unidos) y Sonora (México); en otras palabras, estas ciudades deben crear estrategias bilaterales. Hasta el momento no existe una solución viable debido a que los agentes involucrados no han llegado a acuerdos; otro de los estudios en asignaciones centralizadas se enfoca en resolver la escasez del sur de Europa debido a los altos niveles de estrés hídrico. Como lo mencionan Goetz, Martínez, y Xabadia (2017), esta región se caracteriza por una creciente sequía por lo que se hace necesario crear un diseño de estrategias para una asignación hídrica eficiente. Por ejemplo, encontrar el punto de equilibrio entre la oferta y la demanda. Sin embargo, la asignación de agua puede verse afectada por la falta de aceptación en su implementación; por ejemplo, en el río Ebro, algunos habitantes no lo consideran apropiado.

Con respecto al caso mexicano en el Estado de Sinaloa, Munguía-López, et al., (2019) proponen un modelo de programación no lineal, entera y mixta para que la asignación hídrica también involucre conceptos como bienestar social, bienestar Rawlsiano y asignación de Nash en una región susceptible a estaciones climáticas. Con esto se busca favorecer a los jugadores que enfrentan mayores costos; sin embargo, este enfoque adolece de ambigüedad por la multiplicidad de soluciones. Así las cosas, el enfoque de Nash proporciona soluciones únicas que equilibran las utilidades de grupos grandes y pequeños desde una manera sistemática, con la aclaración que en conjunto no se logran los mismos resultados para evitar la ruptura de acuerdos.

## **2.2. Diseño de mercados**

El diseño de mercados encamina a los agentes económicos a una solución óptima teniendo en cuenta que puede haber fallas en el mercado. Diseñar un mercado consiste en estudiar la infraestructura, reglas y costumbres a través de las cuales se intercambia información y se realizan transacciones. Los participantes al tener conjuntos de estrategias logran encontrar mercados interconectados, por lo que los mercados al ser adoptados,

implementados y mantenidos generan una ingeniería económica y por tanto la exigencia de un diseño personalizado con lecciones aprendidas (Roth, 2018).

Además, la Monotonicidad de Maskin y Pareto, ésta se evidencia como la herramienta que influencia al mecanismo de aceptación diferida ajustada por la eficiencia en la elección, por lo que Raghavan (2020) reinterpreta la regla de asignación de bienes privados como la capacidad de un agente para influir en el bienestar de otra persona sin cambiar su propio bienestar. Como es el caso que exponen Herrera et al., (2019) en Estados Unidos que mediante un problema de optimización considera un modelo de simulación de mercado basado en agentes con descargas de efluentes (puntuales y no puntuales) y muestran como el control de la calidad del agua genera políticas ambientales que implementan incentivos económicos con el objetivo de reducir la contaminación a través de un control sobre la contaminación y simulación computacional.

Otra alternativa la describe Renna (2017) pues menciona cuando las empresas al necesitar una respuesta rápida en la introducción de nuevos productos y cambios en la demanda para seguir siendo competitivos. Un sistema de fabricación reconfigurable puede reaccionar rápidamente a los cambios en los productos y el mercado, por lo que, mediante el modelo de Gale y Shapley, (1962) se emplea una estrategia de revisión periódica para crear dos conjuntos: uno relacionado a una máquina sobrecargada y un conjunto de las máquinas con poca carga, con lo anterior se forma un emparejamiento de máquinas sobrecargadas y subcargadas.

Además, Nungsari y Flanders (2020) hacen referencia a que el diseño de mercado y la teoría de emparejamiento también se relacionan con el estudio de plataforma, es decir, intermediarios que maximizan las ganancias que sirven para conectar dos o más lados de las personas; como ejemplo se pueden encontrar las populares aplicaciones de Amazon, Netflix y Airbnb las cuales están basadas en algoritmos para el diseño y las operaciones de plataforma como lo señala el algoritmo (Gale y Shapley, 1962).

### **2.3. Mecanismos de Mercado**

En un mercado el precio de un producto permite llevar a cabo el comercio de una manera segura y con las contrapartes relativamente anónimas; entonces, estos precios hacen

que el trabajo de decidir quién obtiene los productos requiera procedimientos sin inspección adicional y en ocasiones se hacen ofertas mostrando al producto más asequible en el mercado a nivel general (Roth, 2018); es el caso de Países Bajos en el que decidieron liberalizar el mercado de los recursos hídricos para asignar eficientemente los recursos mediante un mercado regulado orientado a ser de competencia perfecta, ya que dentro de las posibles respuestas de adaptación a la escasez de agua inducida por el cambio climático debe considerarse una reasignación de recursos hídricos entre usos competitivos como lo mencionan Koopman, Kuik, Tol, y Brouwer (2017).

En relación al párrafo anterior estos autores en su modelo de equilibrio general computable (CGE) proponen evaluar el potencial de los mercados del agua desarrollando escenarios con alcance en los mercados agua y como se incrementa el precio en la industria económica visualizando razones políticas en los servicios públicos de agua al excluir el comercio del agua; además Accinelli et al., (2020) mencionan que para garantizar un consumo eficiente de Pareto se debe optar por el equilibrio de Baliga-Maskin. Dichos autores muestran que todas las comunidades tienen los incentivos para afrontar los costos que implica un único equilibrio dinámico; su principal resultado reafirma el problema del aprovechamiento gratuito y las externalidades para el caso de un bien común en un entorno dinámico. Entonces, para una economía de mercado, el precio es el factor determinante para guiar este tipo de actividades por esta razón se toman referentes como Fu et al., (2018).

## **2.4. Bienes públicos**

Como definición a los bienes públicos Nicholson y Snyder, (2014) enuncian que este tipo de bienes no son excluyentes ni rivales en el consumo; pero que en este caso si se presenta rivalidad dado a la asignación que se debe distribuir de manera eficiente para evitar así el desabastecimiento y la sequía en mención; sus características son: i) Exclusión: es la facilidad de no vincular a los individuos a los beneficios que presenta el bien y ii) No Rivalidad si el consumo de unidades adicionales del mismo no entraña algún costo marginal social de producción. En este proyecto de investigación el agua es un bien común dado a que no es exclusiva, pero si presenta rivalidad.

### **3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Enfoque metodológico**

El desarrollo de esta investigación se basa en la Teoría del Diseño de Mercados para la asignación de recursos hídricos por medio de un modelo matemático apoyado en el Valor de Shapley. Es decir, el proceso de asignación de recursos depende de las contribuciones marginales al bienestar de los agentes involucrados. Esta investigación pretende encontrar la mejor asignación considerando que los agentes involucrados (población rural y empresa hidroeléctrica) forman coaliciones para perjudicar a otros. Por consiguiente, con el valor de Shapley se trata de evitar coaliciones perversas en las que los agentes decidan no aceptar su asignación y tratar de sobreexplotar el recurso hídrico.

Como herramienta de apoyo al desarrollo de la simulación, se utiliza la función de utilidad Cobb-Douglas para determinar el valor de las preferencias de cada uno de los agentes sobre los recursos hídricos en las coaliciones a las que pertenecen. A través del programa de estadística RStudio se construyen diferentes asignaciones eficientes basadas en el Valor de Shapley. Además, este escenario implica condiciones favorables en un entorno de bienestar, para los habitantes de la región ya que se llega a acuerdos que benefician a la población.

#### **3.2. Población y características**

La población que se trabaja en esta investigación está determinada por los agentes económicos (industria y agricultores) ubicados en la comunidad de San Antonio Cuanixtepec del municipio de Hermenegildo Galeana del Estado de Puebla. La cual se tomará en cuenta para realizar el procedimiento metodológico y así encontrar el precio al que se debe vender el recurso hídrico. De esta manera, los agentes económicos presentados servirán para trabajar la base de datos simulada encontrando las preferencias de los consumidores. Se asume que las preferencias son completas, transitivas y continuas, así que se deben ordenar y clasificar de la menos a la más deseable.

Por simplicidad, consideramos que las preferencias están representadas mediante una función de utilidad de tipo Cobb-Douglas, es decir, si consideramos que  $U(A) = X$  y  $U(B) = Y$ , decimos que  $A$  es preferible a  $B$ , cuando  $X > Y$ . Así pues, el orden de

preferencias de cualquier elemento de la población será (Nicholson y Snyder, 2014) generado mediante la valoración  $U(x, y) = x^a y^b$  donde  $x = \text{agua}$ ,  $y = \text{otros insumos/bienes}$ . En este caso los consumidores de preferencias hídras en Teoría de Juegos modelan un problema al emplear i) jugadores, ii) conjuntos de opciones a su disposición y ii) ganancias. genera que los agentes involucrados en este proyecto de grado (industria y los agricultores).

Para modelar la asignación de agua entre comunidades rurales y empresas que comparten recursos hídras, consideramos un juego cooperativo para garantizar la no sobreexplotación de recursos y el cuidado de su calidad. El conjunto de jugadores está representado por  $J$ ; asumimos que el conjunto  $J$  está particionado en los conjuntos  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  y  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ , donde  $C$  y  $E$  son las comunidades y empresas cercanas a un recurso hídrico  $R$ , el cual utilizan para satisfacer necesidades de producción y de consumo. Consideramos que  $R$  tiene una disponibilidad de  $q_R$  litros por día.

Denotamos una comunidad y una empresa genérica mediante  $c$  y  $e$ , respectivamente, mientras que  $k$  es un jugador cualquiera en  $J$ . Asumimos que cada jugador  $k$  tiene un valor  $V_k$  definida sobre la asignación de recursos  $\bar{x}_k \in \mathbb{R}$  que solicita. Para cada coalición  $S \subset J$ , sea  $V(S)$  la utilidad que los agentes en  $S$  obtienen por cooperar y una asignación de agua es un vector  $x = (x_C, x_E) = (x_{c_1}, \dots, x_{c_n}, x_{e_1}, \dots, x_{e_m})$ ; por lo que,  $x_C$  es el vector que resume la cantidad de agua que reciben las comunidades. De manera análoga se define  $x_E$ .

Sabemos que las actividades de los agentes en  $J$  impactan en la calidad del agua; sea  $\theta_k$  el impacto del agente  $k$  en la calidad del agua concentrada en el recurso  $R$ . Sea  $x_S$  la asignación de agua para un conjunto de agentes  $S \subseteq J$ , medimos la calidad del agua mediante la función  $T$  tal que  $T(x_S) = \sum_{k \in S} \theta_k x_k$ . Entonces, una asignación  $x = (x_C, x_E)$  del recurso hídrico es eficiente cuando  $\sum_{k \in J} x_k \leq q_R$  y  $T(x_S) \geq \theta$  para todo  $S \subseteq J$ , donde  $\theta$  es un mínimo de calidad. En otras palabras, una asignación eficiente no sobreexplota los recursos del acuífero  $R$  por día y mantiene una calidad aceptable del agua. Además, la asignación es justa cuando  $V(S) \geq \sum_{k \in S} v_k$ ; es decir, el valor que obtienen de cooperar entre ellos es mayor que le valor que obtendrían al actuar de manera independiente.

El desarrollo de la investigación quiere mostrar que para poder llegar a un acuerdo cooperativo entre la empresa hidroeléctrica y la comunidad rural se debe producir un efecto de cooperación entre ellos, y así poder encontrar un beneficio común formando una coalición entre estos jugadores. Éstos actuarán buscando el máximo beneficio posible para la coalición que puede estar formada por cualquier número de jugadores. Cuando el reparto del pago entre los jugadores es posible se habla de un juego con Utilidad Transferible (*UT*), en este caso se precisa que el mecanismo de asignación de recursos hídricos se basa en el hecho de que el agua genera externalidades positivas que se transfieren entre los agentes económicos.

### **Definición 1.**

Un juego cooperativo de utilidad transferible está formado por i) un conjunto finito dado por las personas que conforman la comunidad indígena y la empresa hidroeléctrica denotado por  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  y ii) una función característica  $v: 2N \rightarrow R$  que asocia a cada subconjunto  $S$  de  $N$  (o coalición) un número real  $v(S)$  (valor de la coalición), siendo  $v(\emptyset) = 0$ . Por tanto, se expresa al juego *UT* como  $(N, v)$  donde  $N$  y  $v$  deben estar especificados. La única restricción que se le impone a la función característica es que a la coalición formada por un conjunto vacío de jugadores le asigne un pago nulo. En este caso una solución es una asignación cualquiera, sin embargo, para que sea una buena solución se deben satisfacer propiedades como monotonidad explicado en la sección de mecanismos de mercado.

#### **3.2.1. Núcleo de un Juego Cooperativo**

En un juego cooperativo expresado en su forma característica  $[N, v]$  donde  $N = \{1, 2, \dots, n + 1\}$  son los jugadores, en este caso la empresa hidroeléctrica y los  $n$  habitantes de la zona, y la función de valor es  $v$  (Schmeidler, 1969). Una imputación es un vector  $x \in R^N$ ; decimos que está dominada por otra imputación  $y$  si existe una coalición  $C$ , de modo que la empresa y los campesinos prefieren  $y$ , así que  $x_i < y_i$  para todo  $i \in C$ . Así las cosas, Shapley y Shubik (1969) mencionan que en este juego el núcleo es el conjunto de imputaciones no dominadas que además satisfacen  $\sum_{i \in C} y_i \leq v(C)$ . De manera equivalente, el núcleo es un conjunto de asignaciones de pago  $x \in R^N$  que satisfacen eficiencia

$(\sum_{i \in N} x_i = v(N))$ , y la propiedad de racionalidad coalicional, es decir,  $\sum_{i \in C} x_i \geq v(C)$  para todos los subconjuntos de coaliciones  $C \subset N$  (Shapley, 1967).

#### 4. CAPITULO IV. RESULTADOS

El mecanismo de solución que proponemos está basado en el Valor de Shapley contribuye a generar una asignación justa y eficiente cuando la función de valor está dada por la función característica, en este caso se emplea la Cobb Douglas, en apoyo a lo mencionado Pérez, Jimeno, y Cerdá (2004) mencionan que para este concepto de solución de juegos cooperativos se busca una distribución de pagos entre los jugadores de manera que se cumplan determinados criterios, en este caso la comunidad rural del municipio de Hermenegildo Galeana y la Empresa Hidroeléctrica nacional.

##### **Definición 2.**

Se dice que un juego  $(N, v)$  es monótono si,  $\forall S, T \subseteq N$ , con  $S \subseteq T$ , se verifica que  $v(S) \leq v(T)$ .

Entonces el juego cooperativo es monótono cuando al crecer el número de jugadores que forman una coalición el beneficio o pago de esta coalición no disminuye. No hay jugadores que resten beneficios, o que hagan a la coalición obtener menos beneficio.

##### **Definición 2.**

Un juego  $(N, v)$  es súper aditivo si  $\forall S, T \subseteq N$  con  $S \cap T = \emptyset$ , se verifica que  $v(S) + v(T) \leq v(S \cup T)$ .

En palabras, un juego es aditivo si dos coaliciones disjuntas deciden unirse para formar una coalición mayor, el beneficio de la nueva coalición será igual o superior que la suma de los beneficios de las coaliciones originales. Si la desigualdad de la definición anterior se da en sentido opuesto se dice que el juego es sub aditivo. Entendiendo esta definición, esta propiedad se solicita para garantizar que el valor de Shapley sea una

asignación de núcleo, es decir el conjunto de asignaciones factibles que en la coalición de empresa hidroeléctrica y trabajadores del campo no se puede mejorar.

### **Definición 3.**

Se dice que un juego  $(N, v)$  es convexo si  $\forall S, T \subseteq N$  se verifica que  $v(S) + v(T) \leq v(S \cup T) + v(S \cap T)$ , o sea que la desigualdad se da en sentido opuesto se dice que el juego es cóncavo.

#### **4.1.1. El Valor de Shapley**

Para juegos cooperativos de utilidad transferible se pretende conocer el pago esperado para un jugador determinado en un reparto de pagos único que cumpla una serie de propiedades o axiomas como eficiencia, simetría, jugador pasivo y aditividad paraqué se establezcan una serie de pagos entre los la empresa y los agricultores con el fin de que se generen acuerdos cooperativos que beneficien a estos dos agentes económicos.

### **Teorema 1.**

Shapley muestra que el conjunto  $G$  de todos los juegos aditivos, o sea cuando  $v(S \cup T) \geq v(S) + v(T) \quad \forall S, T \text{ en } N / S \cap T = \varnothing$  con  $n$  participantes de la comunidad indígena y la empresa que define un operador  $\phi : G \rightarrow R^n$ , así que muestra que la única solución  $f$  definida en  $\Gamma^N$  que satisface las propiedades de aditividad, jugador nulo, simetría y eficiencia es el valor de Shapley. Dado un juego  $(N, v)$ , esta solución asigna a cada jugador  $i \in N$  el número real:

$$\Phi(N, v) = \sum_{S \subseteq N: i \in S} q(S)(v(S) - v(S \setminus (i)))$$

$q(S) = \frac{(s-1)!(n-s)!}{n!}$ , mientras que  $s = |S|, n = |N|$  representan el número de jugadores que hay en las coaliciones  $S$  y  $N$ . El valor de Shapley puede interpretarse en este caso como la contribución marginal esperada de cada jugador al entrar en una coalición al azar. En efecto, el factor  $v(S \setminus (i))$  es la contribución marginal efectiva de  $i$  al incorporarse a  $S \setminus (i)$  mientras que el factor  $q(s)$  es la probabilidad de que a  $i$  le toque incorporarse precisamente a  $S \setminus (i)$  y no a otra coalición. Otra manera de interpretar el valor de Shapley es suponer que los jugadores forman la gran coalición incorporándose de uno en uno, en un orden

aleatorio. De esta forma, cada jugador consigue la cantidad con la que él contribuye a coalición ya formada cuando se incorpora. El valor de Shapley distribuye a cada jugador la cantidad esperada que él obtiene por este procedimiento, suponiendo que la gran coalición de  $n$  jugadores puede formarse, de manera equiprobable, en todos los órdenes posibles (sa, 2020).

Notemos que la definición de eficiencia con la que trabajamos pretende que no se asigne más agua de la que hay disponible y al mismo tiempo busca asegurar un mínimo nivel de calidad. Por consiguiente, para calcular la mejor asignación de agua entre comunidades y empresas, consideramos el valor de Shapley, el cual determina la asignación de la siguiente manera

$$\varphi_k(V - T) = \sum_{S \subset J - \{k\}} \frac{|S|! (n + m - |S| - 1)!}{(n + m)!} ((V - T)(S \cup \{k\}) - (V - T)(S)).$$

Es importante resaltar que la asignación final toma en cuenta la diferencia entre  $V$  y  $T$  para internalizar el impacto de la industria y las comunidades en la calidad del agua.

### Teorema 2.

Si  $V - T$  satisface la propiedad  $(V - T)(S) + (V - T)(S') \geq (V - T)(S \cup S') + (V - T)(S \cap S')$ , entonces la asignación generada por el valor de Shapley de recursos es justa y eficiente.

### Demostración.

**Eficiencia.** Sea  $\{\varphi_k\}_{k \in J}$  la asignación generada por el valor de Shapley, Notemos que

$$\begin{aligned} \sum \varphi_k &= \sum_{k \in J} \sum_{S \subset J - \{k\}} \frac{|S|! (n + m - |S| - 1)!}{(n + m)!} ((V - T)(S \cup \{k\}) - (V - T)(S)) \\ &= \sum_{S \subset J - \{k\}} \frac{|S|! (n + m - |S| - 1)!}{(n + m)!} \sum_{k \in J} ((V - T)(S \cup \{k\}) - (V - T)(S)) \end{aligned}$$

Por la submodularidad de  $V$  y  $T$ , tenemos que

$$\sum_{S \subset J - \{k\}} \frac{|S|! (n + m - |S| - 1)!}{(n + m)!} \sum_{k \in J} ((V - T)(S \cup \{k\}) - (V - T)(S))$$

$$\begin{aligned}
&\leq \sum_{S \subset J - \{k\}} \frac{|S|! (n + m - |S| - 1)!}{(n + m)!} \sum_{k \in J} ((V - T)(S) - (V - T)(\emptyset)) \\
&= \sum_{S \subset J - \{k\}} \frac{|S|! (n + m - |S| - 1)!}{(n + m)!} \sum_{k \in J} (V - T)(S) \\
&= (V - T)(J) = q_R.
\end{aligned}$$

Además, se tiene que

$$\begin{aligned}
T(\varphi_S) &= \sum_{k \in S} \theta_k \varphi_k \\
&= \sum_{k \in S} \theta_k \sum_{S \subset J - \{k\}} \frac{|S|! (n + m - |S| - 1)!}{(n + m)!} ((V - T)(S \cup \{k\}) - (V - T)(S)) \\
&= \sum_{k \in S} \sum_{S \subset J - \{k\}} \frac{|S|! (n + m - |S| - 1)!}{(n + m)!} \theta_k ((V - T)(S \cup \{k\}) - (V - T)(S)) \\
&\geq \sum_{k \in S} \theta_k ((V - T)(S \cup \{k\}) - (V - T)(S)) \geq \sum_{k \in S} \theta_k = \theta.
\end{aligned}$$

**Justicia.** Notemos que

$$\begin{aligned}
\sum \varphi_k &= \sum_{k \in J} \sum_{S \subset J - \{k\}} \frac{|S|! (n + m - |S| - 1)!}{(n + m)!} ((V - T)(S \cup \{k\}) - (V - T)(S)) \\
&= \sum_{S \subset J - \{k\}} \frac{|S|! (n + m - |S| - 1)!}{(n + m)!} \sum_{k \in J} ((V - T)(S \cup \{k\}) - (V - T)(S))
\end{aligned}$$

Por la submodularidad de  $V$  y  $T$ , tenemos que

$$\begin{aligned}
&\sum_{S \subset J - \{k\}} \frac{|S|! (n + m - |S| - 1)!}{(n + m)!} \sum_{k \in J} ((V - T)(S \cup \{k\}) - (V - T)(S)) \\
&\leq \sum_{S \subset J - \{k\}} \frac{|S|! (n + m - |S| - 1)!}{(n + m)!} \sum_{k \in J} ((V - T)(S) - (V - T)(\emptyset)) \\
&= \sum_{S \subset J - \{k\}} \frac{|S|! (n + m - |S| - 1)!}{(n + m)!} \sum_{k \in J} (V - T)(S)
\end{aligned}$$

$$\leq V(S).$$

El Teorema anterior señala que cuando se ajusta el valor de las coaliciones del agua en relación al impacto en la calidad, es posible generar una asignación justa y eficiente por medio del Valor de Shapley. Entonces, es necesario establecer un mecanismo que ayude a calcular la asignación correspondiente, por este motivo en el valor de Shapley se puede calcular directamente cuando se conoce la función de valor de las diferentes coaliciones que se pueden construir. Sin embargo, la programación del valor de Shapley tiene una elevada complejidad computacional. Por consiguiente, se recomienda seguir un enfoque de Investigación de Operaciones para la aplicación de la teoría de juegos cooperativos en la asignación de agua (Pérez, Jimeno, y Cerdá, 2004).

Tomando en cuenta lo anterior se puede utilizar de manera directa algoritmos que representan un conjunto de instrucciones definidas, organizadas y finitas que permiten construir mediante una base de datos simulada que involucra los agentes económicos que se han trabajado hasta el momento, es decir la Empresa Hidroeléctrica Nacional y la comunidad indígena de Cuanixtepec. Los códigos de programación que describen los conceptos hasta acá mencionados para la construcción del Valor de Shapley y que en este Rscrip solo se presenta para cuatro jugadores, si se desea adicionar más jugadores es cuestión de cambiar el número de la población por un valor entre 1 y 12, los superiores a estos generan problemas en la máquina; y es el siguiente:

- `#α_i, números aleatorios uniformes`
- `Alpha = runif(496, min=0, max=1)`
- `#Porque es un bien inelástico`
- `#β_i, números aleatorios uniformes`
- `Beta = runif(496, min=1, max =50)`
- `#p_i=p=Precio fijo metro cúbico, precio m3 Puebla: 22.24`
- `Precio = rep(22.24, 496)`
- `#m_i Ingreso promedio del municipio =IM=6000?`
- `IM=13993`
- `Ingreso =runif(496, min=0, max=2*IM)`

- $\#Demanda \text{ de agua} = (\alpha_i m_i) / ((\alpha_i + \beta_i)p)$  Ingreso promedio: 13,993
- $Demanda = (\text{Alpha} * \text{Ingreso}) / ((\text{Alpha} + \text{Beta}) * \text{Precio})$
- `Data = data.frame(Alpha, Beta, Precio, Ingreso, Demanda)`
- `x=1:496`
- `plot(x, Demanda)`
- `Demanda[1]`
- `Demanda[234]`
- `Demanda[400]`
- `max(Demanda)`
- `min(Demanda)`
- `poblacion=10`
- `#Matriz de coaliciones`
- `coali = vector("list", 1)`
- `for (i in 1:poblacion) {coali[[i]]=combn(poblacion, i)}`
- `#Cantidad de coaliciones`
- `#Guardamos el total por número de integrantes`
- `coaliciones = seq(0, poblacion)`
- `for (i in 1:poblacion) {coaliciones[i] = dim(combn(poblacion, i))[2]}`
- `#Hay que eliminar la coalición vacía`
- `coalicionestotales = sum(coaliciones) - 1`
- `coalicionestotales`
- `rm(list = ls())`
- `#SIMULACIÓN DEL MERCADO DEL AGUA`
- `#Primero describimos las preferencias Cobb-Douglas de los agentes`
- `#Recordemos que los exponentes reflejan la elasticidad del bien`
- `#El agua es inelástica, cada agente la percibe de diferente manera`

- `##_i`, números aleatorios uniformes, elasticidades de los diferentes agentes
- `Alpha = runif(496, min=0, max=1)`
- `#El otro bien en la canasta resume otros bienes de consumo. Asumimos que es elástico`
- `##_i`, números aleatorios uniformes
- `Beta = runif(496, min=1, max =50)`
- `#El precio está dado por el gobierno`
- `#p_i=p=Precio fijo metro cúbico, precio m3 Puebla: 22.24`
- `Precio = rep(22.24, 496)`
- `#IM es el ingreso promedio de la comunidad`
- `IM=13993`
- `#Asumimos que se distribuye de manera uniforme entre cero y dos veces ese ingreso promedio`
- `#como máximo`
- `Ingreso =runif(496, min=0, max=2*IM)`
- `#Recuperando las demandas Cobb-Douglas, a continuación, se describe lo que cada agente`
- `#demanda`
- `#Demanda de agua = (##_i m_i)/((##_i+##_i)p) Ingreso promedio: 13,993`
- `#Es una función que depende de las características del individuo`
- `Demanda=function(i){(Alpha[i]*Ingreso[i])/((Alpha[i]+Beta[i])*Precio[i])}`
- `#La base de datos se puede almacenar`
- `Data= data.frame(Alpha, Beta, Precio, Ingreso)`
- `#Con las características anteriores, procedemos a construir el juego cooperativo`
- `#Para fines de la computación, consideramos que hay 11 jugadores, uno de ellos es`
- `#la empresa`

- #R requiere cómputo adicional para calcular 496 individuos
- poblacion = 4
- #Generamos las coaliciones posibles
- #Lista de coaliciones con 1, 2, ..., individuos
- coali = vector("list", 1)
- for (i in 1:poblacion) {coali[[i]]=combn(poblacion, i)}
- #Ejemplos
- #coalición con tres individuos
- coali[[3]][,4]
- #coalición con dos individuos
- coali[[2]][,6]
- #Cantidad de coaliciones
- #Guardamos el total de coaliciones distintas por número de integrantes
- coaliciones =rep(0, poblacion)
- for (i in 1:poblacion) {coaliciones[i] = dim(combn(poblacion,i))[2]}
- Coaliciones
- #El vector coaliciones almacena las posibles coaliciones con 1, 2, hasta población de elementos
- Coaliciones
- #Total de coaliciones distintas al vacío es la suma de los elementos
- #en el vector anterior
- coalicionestotales=sum(coaliciones)
- coalicionestotales
- #Procedemos a obtener la demanda de cada individuo que hay en una coalición
- demind = vector("list", 1)
- #Usamos la función de demanda anterior

- `for (i in 1:poblacion) {demind[[i]] =  
matrix(Demanda(coali[[i]]), nrow=i, ncol =  
coaliciones[i])}`
- `#Por ejemplo, a continuación, se observa la cantidad que  
demandan los individuos en la coalición 3`
- `# que tiene dos individuos`
- `demind[[2]][,3]`
- `#La coalición es un agente que debe demandar una  
cantidad de agua`
- `#Consideramos que la coalición demanda el máximo  
multiplicado por el número de integrantes`
- `#Lo anterior nos ayuda a construir la función de valor  
del juego`
- `#Es necesario tener el valor de cada coalición para  
poder obtener el Valor de Shapley`
- `demco =rep(0,coalicionestotales)`
- `k=0`
- `for (i in 1:poblacion) {for (j in 1:coaliciones[i]) {`
- `demco[[k+j]] = max(demind[[i]][,j])}k = k+`
- `coaliciones[i]}`
- `#La función de valor es demco`
- `#Hay que ejecutar las siguientes instrucciones para que  
se pueda calcular el`
- `#valor de shapley`
- `install.packages("GameTheory")`
- `library(GameTheory)`
- `#Definimos el juego`
- `#Los nombres de los consumidores son numéricos`
- `Agentes <- seq(1, poblacion)`
- `Agentes`
- `Asagua =DefineGame(poblacion, demco)`
- `summary(Asagua)`

- #Cálculo del Valor de Shapley
- `AsignaciondeAgua = ShapleyValue(Asagua,Agentes)`
- #La cantidad de agua que cada agente debe consumir para cooperar entre ellos es
- `summary(AsignaciondeAgua)`
- #La asignación anterior se puede comparar con la demanda. Para que haya sustentabilidad,
- #todos los agentes cambian su asignación  
`Demanda(Agentes)`

Entonces para el desarrollo del Valor de Shapley (VS) se ha planteado una cantidad determinada de jugadores, en la fase inicial descrita anteriormente se prueba para cuatro jugadores, como se había mencionado, seguidamente para cuatro, seis, ocho, diez, doce, catorce, dieciséis y dieciocho; se intenta continuar con este procedimiento pero en pruebas aleatorias de orden ascendente existe un bloqueo para veinte jugadores, por lo que la capacidad de la computadora en la que se trabaja solo permite emplearse hasta el intervalo cerrado de  $[0, 18]$ . Los gráficos son los siguientes:

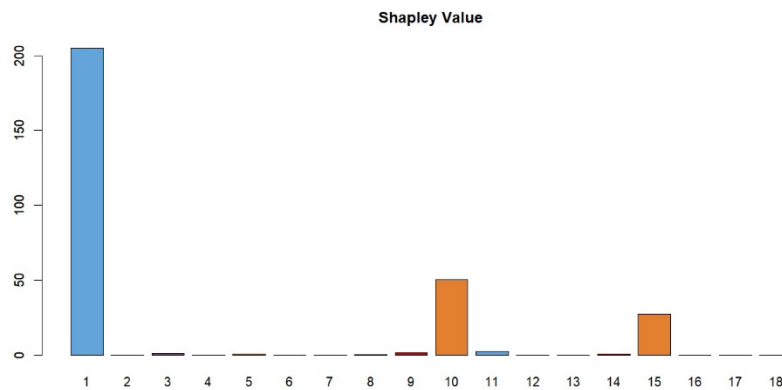


Ilustración 1 Valor de Shapley de 18 jugadores. Fuente propia.

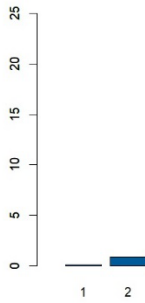


Ilustración 2 Valor de Shapley de 16 jugadores. Fuente propia.

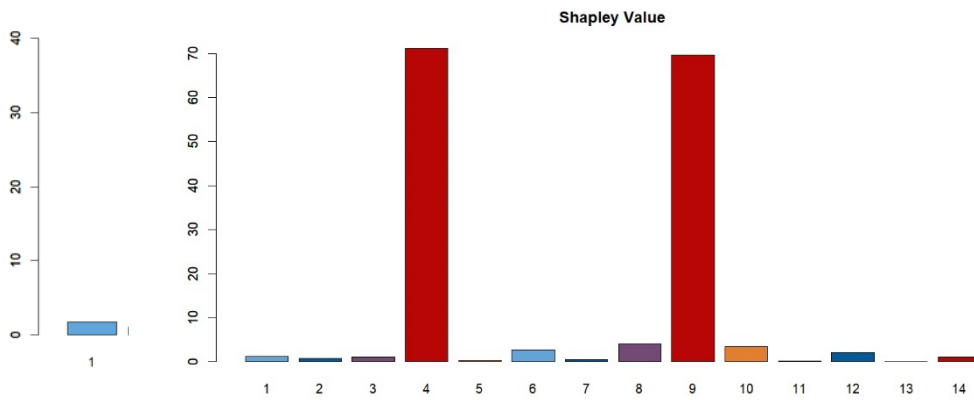


Ilustración 3 Valor de Shapley de 14 jugadores. Fuente propia.

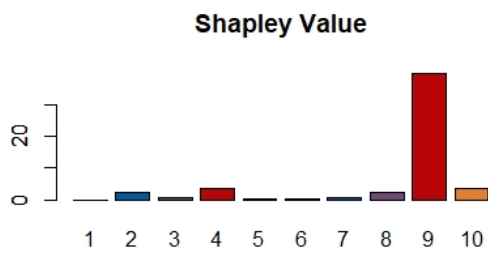


Ilustración 4 Valor de Shapley de 12 jugadores. Fuente propia.

Ilustración 4 Valor de Shapley de 10 jugadores.  
Fuente propia.

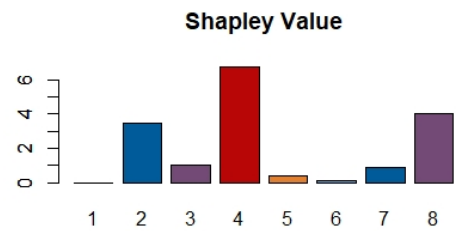


Ilustración 4 Valor de Shapley de 8 jugadores.  
Fuente propia.

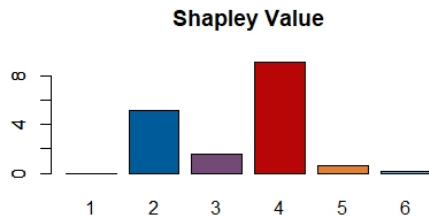


Ilustración 6 Valor de Shapley para 6 jugadores.  
Fuente propia.

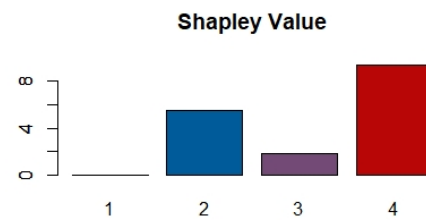


Ilustración 7 Valor de Shapley de 4 jugadores.  
Fuente propia.

Así las cosas, el Valor de Shapley reasigna la cantidad de agua que puede utilizar cada uno de los jugadores involucrados. En el eje horizontal se encuentra la cantidad de jugadores, mientras en el eje vertical la cantidad de agua que le corresponde; entonces por las propiedades teóricas del VS y la mejor asignación de agua (litros por día) está determinado para el jugador cuatro para una población de cuatro a ocho y catorce jugadores; mientras que para una cantidad de diez jugadores, el VS está dada para el jugador 9, en doce jugadores el mejor VS es el jugador 5, para dieciséis jugador el mejor VS está en 13 y para el último grupo de dieciocho jugadores, el VS está en el jugador, lo que implica que la reasignación eficiente del recurso acuífero va a depender de la cantidad total de los jugadores sin predicción alguna.

También se calcula la demanda real por habitante mediante la Coob-Douglas con un valor dado por la siguiente fórmula  $Demanda = function(i)\{(Alpha[i] * Ingreso[i]) / ((Alpha[i] + Beta[i]) * Precio[i])\}$ ; donde el vector Alpha que representa a la población tomando en cuenta el intervalo entre de  $[0, 1]$ , el ingreso promedio está dado por \$ 13.993,00 MEX, el vector Beta se toma de manera similar a Alpha, pero en un intervalo de de  $[1, 50]$ , para un precio de agua dado por metro cúbico de \$ 22.24,00 MEX; por lo que tomando en cuenta las gráficas ninguno de los agentes se queda sin agua, aun con la empresa hidroeléctrica funcionando, sin embargo el agente con mayor demanda es el agente que recibe más agua y como ventaja del VS se elimina la intención de hacer coaliciones ya que los agentes cuando bloqueen a otros en el acceso del agua continúan con una distribución de agua sin perjudicar a ninguno.

## CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

En la asignación de recursos acuíferos entre comunidades y empresas desde la perspectiva del diseño de mercados, se muestra al Valor de Shapley como mecanismo de asignación basado en juegos cooperativos que determinan una asignación de agua en la que los agentes pueden satisfacer necesidades y garantizar la calidad junto con l no sobreexplotación del recurso. Este modelo ofrece el beneficio en la distribución del recurso hídrico a los dos agentes económicos (hidroeléctrica y comunidad agrícola) ya que fomenta el principio de justifica y bienestar pues toma en cuenta las necesidades de los dos jugadores.

También se logra establecer la interacción de agentes como un modelo de diseño de mercados mediante el modelo mencionado en el anterior capítulo definiéndolos de acuerdo a su capacidad de cooperativismo, por lo que allí vemos la importancia de la interventoría del gobierno, esto permite reasignar los recursos hídricos por medio del Valor de Shapley, adicionalmente se logra obtener una simulación del mercado a través de la Ecuación de Coop Douglas y que no es necesario obtener una base de datos de manera empírica o trabajada directamente en el campo experimental, por lo que este trabajo de investigación genera este aporte para el encuentro del mercado de preferencias para lograr asignar de manera eficiente los recursos hídricos entre la comunidad indígena y la empresa hidroeléctrica, pudiéndose aplicar de manera general en otros competidores.

En el marco de la simulación del mercado de preferencias al asignarse de manera eficiente los recursos hídricos mediante el modelo propuesto, se evidencia que ninguno de los agentes involucrados ya sea empresa hidroeléctrica o comunidad indígena se quedaría sin el recurso acuífero, por lo que se deduce que la propuesta del diseño de mercado para la reasignación justa y eficiente de recursos hídricos de comunidades agrícolas vecinas a nivel general, por ello se puede tomar como caso de estudio la comunidad agrícola de San Antonio de Cuanixtepec, ubicada en el municipio de Hermenegildo Galeana del Estado de Puebla cumple.

## 5. REFERENCIAS

- Asprilla, J. (2020). Cross-country evidence for social dimensions of urban water consumption during droughts. *Journal of Cleaner Production*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120895>
- Accinelli, E., Martins, F., & Pinto, A. (2020). Evolutionary dynamics for the generalized Baliga–Maskin public good model. *Chaos, Solitons and Fractals*, 131. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2019.109496>
- Altman, M. (2020). Capítulo 3: How complexity affects decision-making. En M. Altman, *Smart Economic Decision-Making in a Complex World* (págs. 39-73). doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811461-2.00003-1>
- Astudillo, M., & Paniagua, J. (2012). *Fundamentos de Economía* (1º ed.). (M. Simón, & E. Amaya, Edits.) Ciudad de México, Estados Unidos Mexicanos: Probooks, S.A de C.V. doi:<http://ru.iiec.unam.mx/2462/1/FundamentosDeEconomiaSecuenciaCorrecta.pdf>
- Börger, T., Krähmer, D., & Strausz, R. (2015). *An Introduction to the Theory of Mechanism Design*. New York: Oxford University Press. Obtenido de 978-0-19-973402-3
- Calatrava, J., & Gómez-Limón, J. (2016). Mercados de agua y eficiencia económica. *Los mercados de agua en España: Presente y perspectivas*, 127-157. doi:[https://www.researchgate.net/profile/Sarah\\_Wheeler4/publication/305317818\\_Mercados\\_de\\_agua\\_en\\_Australia\\_y\\_California\\_Que\\_podemos\\_aprender\\_de\\_ellos/links/5a613cdca6fdccb61c5024b7/Mercados-de-agua-en-Australia-y-California-Que-podemos-aprender-de-ellos.pdf#](https://www.researchgate.net/profile/Sarah_Wheeler4/publication/305317818_Mercados_de_agua_en_Australia_y_California_Que_podemos_aprender_de_ellos/links/5a613cdca6fdccb61c5024b7/Mercados-de-agua-en-Australia-y-California-Que-podemos-aprender-de-ellos.pdf#)
- Coppola, A., & Szidarovsky, F. (2004). Conflict between water supply and environmental health risk: a computational neural network approach. *International Game Theory Review*, 6(4), 475-492. doi: 10.1142 / S0219198904000319
- Das, B., Singh, A., Panda, S., & Yasuda, H. (2015). Optimal land and water resources allocation policies for sustainable irrigated agriculture. *Land Use Policy*, 42, 527-537. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.09.012>
- Davijani, M., Banihabib, M., Anvar, A., & Hashemi, S. (Febrero de 2016). Optimization model for the allocation of water resources based on the maximization of employment in the agriculture and industry sectors. *Journal of Hydrology*, 533, 430-438. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.12.025>

- Dobzinski, S., Nisan, N., & Oren, S. (2019). Economic efficiency requires interaction. *Games and Economic Behavior*, 118, 589-608. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geb.2018.02.010>
- Duran-Encalada, J., Paucar-Caceres, A., Bandalaa, E., & Wright, G. (2017). The impact of global climate change on water quantity and quality: A system dynamics approach to the US–Mexican transborder region. *European Journal of Operational Research*, 256, 567-581. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.016>
- Fu, Q., Li, L., Li, T., Liu, D., Hou, R., & Zhou, Z. (2018). An interval parameter conditional value-at-risk two-stage stochastic programming model for sustainable regional water allocation under different representative concentration pathways scenarios. *Journal of Hydrology*, 564, 115-124. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.008>
- Fu, Y., Zhang, J., Zhang, C., Zang, W., Guo, W., Qian, Z., . . . Feng, J. (2018). Payments for Ecosystem Services for Watershed Water Resource Allocations. *Journal of Hydrology*, 556, 689-700. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.051>
- Gale, & Shapley. (1962). Matching estable. 1-2. doi:<http://mate.dm.uba.ar/~jpinasco/gale-shapley.pdf>
- Ghosh, S., Ibararán, M., Willett, K., & Sanchez, G. (2017). Water allocation and management along the Santa Cruz border region. *Water Resources and Economics*, 19, 1-17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wre.2017.09.004>
- Goetz, R., Martínez, Y., & Xabadia, A. (1 de Diciembre de 2017). Efficiency and acceptance of new water allocation rules - The case of an agricultural water users association. *Science of the Total Environment*, 601-602, 614-625. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.226>
- Granada, U. d. (2020). <http://bibing.us.es/>. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11847/fichero/Volumen+1%252FCap%C3%ADtulo+1.pdf+#:~:text=La%20Teor%C3%ADa%20de%20Juegos%20distingue,juegos%20distintos%20en%20su%20planteamiento.&text=El%20objetivo%20principal%20de%20la,un%20reparto%20de%20beneficio>
- Guerrien, B., & Jallais, S. (2008). *Microeconomía una presentación crítica*. (U. P. Sorbonne), Ed.) París, : Malta Ediciones. doi:<http://bernardguerrien.com/wp-content/uploads/2017/07/LibroMicroeconomia.pdf>
- Habibi, M., Banihabib, M., Nadjafzadeh, A., & Hashem, S. (2016). Multi-Objective Optimization Model for the Allocation of Water Resources in Arid Regions Based on the Maximization of Socioeconomic Efficiency. *Water Resour Manage*, 30, 927–946. doi:[10.1007/s11269-015-1200-y](https://doi.org/10.1007/s11269-015-1200-y)
- Herrera, L., Luccini, E., Parodi, M., Matar, M., & Gomez, J. (2019). Water quality regulation from the perspective of Engineering and Environmental Economics.

- Energeia*, 16(16), 29-36.  
doi:https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/9827/2/regulacion-calidad-agua-perspectiva.pdf
- Hilton, B., & Culver, T. (2000). Constraint handling for genetic algorithms in optimal remediation design. (126), 128-137. doi:10.1061 / (ASCE) 0733-9496 (2000) 126: 3 (128)
- Klink, F. (2018). Hacia una nueva economía del agua: cuestiones fundamentales. *Polis Revista Latinoamericana*(14), 1-18. doi:http://dx.doi.org/10.32735/S0718-6568/2006-N14-437
- Koopman, J., Kuik, O., Tol, R., & Brouwer, R. (2017). The potential of water markets to allocate water between industry, agriculture, and public water utilities as an adaptation mechanism to climate change. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*(22), 325–347. doi:DOI 10.1007/s11027-015-9662-z
- Ibáñez, F. (1996). *Las economías del Este y sus perspectivas*. San Salvador: Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.
- Lewandowski, A. (1979). A game-theoretical approach to modelling the behavior of water users in a In: Findeisen, W. (Ed.), *Studies in Control Methodology for Water. Techn. Dept., Inst. Automat. Control, Techn. Uni. Warsaw, Warsaw*, 83–97.
- Li, M., Fu, Q., Singh, W., Liu, D., & Gong, X. (30 de Abril de 2020). Risk-based agricultural water allocation under multiple uncertainties. *Agricultural Water Management*, 1-32. doi:https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106105
- Li, M., Xu, Y., Fu, Q., Singh, V., Liu, D., & Li, T. (2020). Efficient irrigation water allocation and its impact on agricultural sustainability and water scarcity under uncertainty. *Journal of Hydrology*, sp. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124888
- Li, M., Xu, Y., Fu, Q., Singh, V., Liu, D., & Li, T. (2020). Efficient irrigation water allocation and its impact on agricultural sustainability and water scarcity under uncertainty. *Journal of Hydrology*, 586, 1-12. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124888
- Liu, S., & de Bont, C. (2017). Barriers to Strategic Design: A Perspective from China. *Elsevier B.V*, 3(2), 133-145. doi:https://doi.org/10.1016/j.sheji.2017.09.003
- Llop, A. (2018). Universidad Nacional de San Martín y Fundación Innovación Tecnológica (FUNINTEC). Programa Futuros: Escuela de Posgrado: Agua + Humedales. (Serie Futuros). *Economía del agua y su ambiente* (págs. 94-109). Buenos Aires: UNSAM Edita. doi:http://ri.unsam.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/912/PFAH%202018%20CLAA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [Luna, V., Hernández, N., & Dámazo, J. \(2018\). Water quality: commercial effects on agricultural microentrepreneurs of the region of Atlixco, Puebla. \*Educateconciencia\*, 17\(18\), 20-37. doi:http://tecnocientifica.com.mx/educateconciencia/index.php/revistaeducate/articloe/view/421/511](#)
- [Luo, P., Sun, Y., Wang, S., Wang, S., Lyu, J., Zhou, M., . . . Nover, D. \(2020\). Historical assessment and future sustainability challenges of Egyptian water resources management. \*Journal of Cleaner Production\*, 263, 1-11. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121154](#)
- [Meng, F., Tang, J., Ma, B., & Zhang, Q. \(2019\). Proportional coalition values for monotonic games on convex geometries with a coalition structure. \*Journal of Computational and Applied Mathematics\*, 348, 34-47. doi:https://doi.org/10.1016/j.cam.2018.04.050](#)
- [Munguía-López, A., Sampat, A., Rubio-Castro, E., Ponce-Ortega, J., & Zavala, V. \(2019\). Fairness-guided design of water distribution networks for agricultural lands. \*Computers and Chemical Engineering\*, 130, sp. doi:doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106547](#)
- [Nicholson, W., & Snyder, C. \(2014\). \*Teoría Microeconómica. Principios Básicos y Apliaciones\* \(10 ed.\).](#)
- [Nungsari, M., & Flanders, S. \(2020\). Using classroom games to teach core concepts in market design matching theory, and platform theory. \*International Review of Economics Education\*, 35, 1-15. doi:https://doi.org/10.1016/j.iree.2020.100190](#)
- [Ocampo-Fletes, I., Parra-Inzunza, F., & Ruiz-Barbosa, A. \(2018\). Derechos al uso de agua y estrategias de apropiación en la región semiárida de Puebla, México. \*Agricultura, sociedad y desarrollo\*, 15\(1\), 63-83. doi:http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722018000100063&lng=es&tlng=es.](#)
- [Organización Munidal de la Salud. \(2021\). Obtenido de https://www.minsalud.gov.co/salud/Paginas/Consumo%20de%20agua.aspx](#)
- [Pérez, A., Macías, A., & Gutiérrez, V. \(2019\). Social and technological state of the management of irrigation water in Puebla, Mexico. \*Acta Universitaria\*, 1-15. doi:http://doi.org/10.15174/au.2019.2114](#)
- [Raghavan, M. \(2020\). Influence in private-goods allocation. \*Journal of Mathematical Economics\*, 89, 14-28. doi:https://doi.org/10.1016/j.jmateco.2020.04.001](#)
- [Renna, P. \(2017\). Decision-making method of reconfigurable manufacturing systems' reconfiguration by a Gale-Shapley model. \*Journal of Manufacturing Systems\*, 45, 149-158. doi:https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.09.005](#)

- Roth, A. (2018). Marketplaces, Markets, and Market Design. *American Economic Review*, 108(7), 1609–1658. doi:<https://doi.org/10.1257/aer.108.7.1609>
- Schmeidler, D. (1969). The nucleolus of a characteristic function game. *SIAM Applied mathematics*, 17(6), 1169-1170. doi:<https://doi.org/10.1137/0117107>
- Sechi, G., Zucca, R., & Zuddas, P. (2013). Water Costs Allocation in Complex Systems Using a Cooperative Game Theory Approach. *Water Resour Manage*(27), :1781–1796. doi:10.1007/s11269-012-0171-5
- Shapley, L. (1967). On balanced sets and cores. *Naval research logistics quarterly*, 14(4), 453-560. doi:<https://sci-hub.se/10.1002/nav.3800140404>
- Shapley, L., & Shubik, M. (1969). On market games. *Journayl of economic theory*, 1(1), 9-25. doi:[doi:10.1016/0022-0531\(69\)90008-8](https://doi.org/10.1016/0022-0531(69)90008-8).
- Sheehan , M., & Kogiku , K. (1981). Game Theory analyses applied to water resource problems. *Socio-Economic Planning Sciences*, 15(3), 109-118. doi:[https://doi.org/10.1016/0038-0121\(81\)90026-4](https://doi.org/10.1016/0038-0121(81)90026-4)
- Wang, Y., Liu, L., Guo, S., Yue, Q., & Guo, P. (2019). A bi-level multi-objective linear fractional programming for water consumption structure optimization based on water shortage risk. *Journal of Cleaner Production*, 237. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117829>
- Young, H. (1994). *Cost allocation, in: Handbook of Game Theory* (Vol. II). North-Holland, Amsterdam, The Netherlands: R.J. Aumann and S. Hart.
- Yu, Y., Yu, R., Chen, X., Yu, G., Gan, M., & Disse, M. (2017). Agricultural water allocation strategies along the oasis of Tarim River in Northwest China. *Agricultural Water Management*, 187, 24-36. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.021>
- Zhang, Y., Li, Y., Sun, J., & Huang, G. (20 de Febrero de 2020). Optimizing water resources allocation and soil salinity control for supporting agricultural and environmental sustainable development in Central Asia. *Science of The Total Environment*, 744. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135281>

