# CUENCAS TRANSFRONTERIZAS EN CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE: BENEFICIOS DE TRATADOS DE AGUAS FLEXIBLES

**Antonio Lloret Carrillo**[1]

**Escuela de Negocios,**

**Instituto Tecnológico Autónomo de México**

El argumento de que las "guerras por agua" son el siguiente motivo por el que los países entraran en conflicto, es un extremo de una realidad que, sin embargo, sugiere que los países deben de trabajar cooperativamente en sus cuencas para evitar los impactos negativos por la escasez de agua y la incertidumbre de su flujo derivado de cambios climáticos o de cambios en la demanda. Una cantidad importante de recursos hídricos en el mundo, se encuentran compartidos por gobiernos en fronteras. Los gobiernos deben de elaborar acuerdos institucionales para la adecuada gestión de aquellos recursos compartidos. Para formalizar un sistema de asignación de recursos hídricos entre los países, se ha demostrado que la cooperación, en la forma de acuerdos institucionales, mejoran el bienestar de la cuenca en su conjunto. Sin embargo, incluso aún cuando existe un acuerdo formal, condiciones inciertas, variabilidad en el flujo de agua o cambios en la demanda de agua o de la infraestructura, pueden cambiar las condiciones iniciales del acuerdo formal y hacer que el acuerdo sea insostenible generando un grado de conflicto no deseado. Un régimen alternativo que permita soluciones temporales cuando las condiciones iniciales han cambiado, es una solución para mantener los acuerdos formales en el tiempo. Este documento modela los beneficios potenciales asociados a soluciones temporales, referidos como acuerdos informales, dado que existe un acuerdo formal. El modelo desarrollado es una función del flujo de agua e incluye parámetros del poder de negociación entre los países para llegar a un acuerdo y los parámetros se encuentran en la región [0,1] adicionalmente estiman funciones en beneficio de los países que comparten una cuenca. El parámetro del poder de negociación mide la fuerza de un país en el proceso de negociación y pueden cambiar con el tiempo. Al analizar empíricamente el caso del río Colorado, compartido por los Estados Unidos y México, se encontró que el promedio de ganancias por el establecimiento de acuerdos informales es del 3.5% pero que el beneficio máximo puede ser de hasta el 19%. Además, en este documento se desarrolla un acuerdo formal flexible que puede ser sostenido en el tiempo y que es una mezcla de acuerdos fijos y acuerdos variables de asignación de agua, lo cual es especialmente necesario cuando hay gran variabilidad de flujo de agua.

Palabras clave: acuerdos informales, acuerdos formales, cuencas transfronterizas, Río Colorado, incertidumbre.

---

[1] Agradezco el apoyo económico de la Asociación Mexicana de Cultura A.C. para la elaboración del presente documento.

## Introducción

Recientemente en el periódico Reforma[2] el Profesor Jeffrey D. Sachs, del Instituto de la Tierra de la Universidad de Columbia en Nueva York, E.U., escribió en una editorial, que los problemas por la escasez de agua puede generar graves conflictos o, algunos ya existentes, agravarse por la falta de una respuesta de los gobiernos a reducir las crisis provocadas por escasez o por la gran variabilidad existente producto del cambio climático en distintas cuencas. El profesor Sachs no es el único que ha hablado en ese sentido pues el argumento de las guerras de agua ha existido por algún tiempo, inclusive el Jefe de las Naciones Unidas Ban Ki Moon, en diciembre de 2007[3] en el marco del Congreso del Agua de la Región Asia-Pacifico, hizo un llamado a las naciones para que estas tomaran acciones a favor de reducir la posibilidad de conflictos provocados por la escasez del recurso. Antes, académicos y políticos, así como la sociedad civil han hecho llamados para reducir y tomar acciones que reduzcan el riesgo de conflictos armados [1]. Ante esta circunstancia, es necesario pues que la gestión de las cuencas transfronterizas requiera de una comprensión profunda de las instituciones, formales e informales, que gobiernan la cuenca. Una cantidad importante de los recursos hídricos en el mundo, se encuentran compartidos en fronteras internacionales y las naciones deben basarse en planes de cooperación institucional para la adecuada gestión de esos recursos compartidos. Los sistemas de cooperación se formalizan en acuerdos institucionales, como los tratados internacionales. Sin embargo, los tratados no se encuentran aislados ni funcionan independientemente, los tratados son sólo una parte de una compleja gama de acuerdos institucionales, tanto nacionales como internacionales, que rigen la gestión de las cuencas transfronterizas y que se deben analizar de manera integrada.

Las cuencas transfronterizas están sujetas a condiciones hidrológicas inciertas que a menudo tienen gran variabilidad. Cuando la tasa de cambio de las condiciones iniciales de los recursos hídricos es más rápida que el ritmo de la adaptación institucional, la posibilidad de que existan controversias internacionales y nacionales puede aumentar.

La flexibilidad de instituciones formales es deseable, pero los costos de transacción asociados con la negociación, la ejecución, y la renegociación, así como la estructura de poder entre los países hacen que sea preferible tener acuerdos formales estáticos. Sin embargo, una alternativa para hacer más flexibles los acuerdos formales, es la creación de acuerdos informales. Los

[2] Reforma Jeffrey D. Sachs, Colaborador Invitado: Las Guerras por el Agua. Mayo 12 de 2009.
[3] The Times, Diciembre 4 de 2009. Pp 34. Leo Lewis.

acuerdos informales son instrumentos institucionales que utilizan los gobiernos para superar crisis, la incertidumbre de algunos acontecimientos, o las condiciones variables que no siempre son considerados en los acuerdos formales. Al efecto, la variabilidad del flujo de agua, y los cambios en la demanda o suministro de los recursos pueden hacer que un acuerdo formal no sea sostenible en el tiempo.

En este documento, se analizan los recursos hídricos transfronterizos en condiciones de incertidumbre y se estiman los beneficios potenciales por el establecimiento de acuerdos informales utilizando un parámetro para evaluar el poder de negociación entre países. Adicionalmente, el análisis pone de manifiesto que en condiciones extremas, los acuerdos formales no pueden permanecer fijos en el tiempo y puede generar conflictos entre las naciones participantes. Una solución es que el acuerdo formal se modifique para permitir escenarios variables en años de bajo.
En el análisis derivo un acuerdo formal y uno informal que puede ser sostenido en el tiempo independientemente del valor del parámetro de negociación para cualquier nivel de flujo de agua. El análisis es bajo el supuesto de que los acuerdos buscan maximizar los beneficios netos conjuntos. El análisis permite demostrar que de existir acuerdos formales e informales, hay beneficios positivos que tienden a aumentar conforme aumenta la variabilidad del flujo de agua.

El análisis consiste también en una aplicación empírica que parte de la estimación de una función de beneficio conjunta en base a la estimación de la demanda de agua por país en una cuenca. La demanda lineal constante de cada país es estimada utilizando elasticidades precio de la demanda, el precio agua por país y la cantidad de agua para cada país en la cuenca. Con la demanda se calcula la función de beneficios cuadrática y en base a ella se calculan los acuerdos formales e informales para cualquier parámetro del nivel de negociación y finalmente calculo los beneficios de establecer acuerdos informales. Este análisis es particularmente importante porque muestra que aunque el acuerdo formal considera los casos extremos de los parámetros y poder de negociación con los casos de bajo flujo, los acuerdos informales todavía puede mejorar aún más el bienestar en las cuencas transfronterizas.

En el documento procedo de la siguiente forma: En la primera sección discuto los principales resultados de modelos de cooperación en cuencas transfronterizas. En la sección dos desarrollo un modelo analítico y calculo los acuerdos formales e informales, así como las ganancias potenciales dado el establecimiento de acuerdos informales. En la sección tres, utilizo el marco analítico para una aplicación empírica en el marco institucional del Río Colorado, compartido

por Estados Unidos y México y finalmente en la sección cuatro concluyo y hago recomendaciones.

## Revisión de la literatura

A continuación, se discute la noción de que los planes de cooperación son relevantes para el estudio de los recursos hídricos transfronterizos, y que la elección de un modelo cooperativo para resolver negociaciones bilaterales de asignación de recursos naturales, es la apropiada. En el análisis discuto el porque de la cooperación y las características de estos esquemas en el contexto de recursos naturales. Posteriormente discuto los esquemas de cooperación como una opción para modelar la iteración entre dos partes así como las ventajas de tener acuerdos formales e informales para mejorar la cooperación y por ultimo analizo los planes de cooperación en el contexto de los recursos hídricos transfronterizos.

### Esquemas de Cooperación

La cooperación es una herramienta de negociación en situaciones en las que se requiere una solución de problemas de asignación y reparto de recursos naturales o de problemas ambientales. En la literatura de teoría de juegos, los esquemas de cooperación tienen la ventaja de encontrar soluciones que son justas y equitativas sobre la distribución de las ganancias producto de la cooperación, en contraste con la teoría de juegos no cooperativa, la teoría de juegos cooperativos se basa en esquemas de comportamiento estratégico formalizando acuerdos de cooperación en los que se asignan ganancias, mientras que en esquemas no cooperativos los países ven exclusivamente por sus propios objetivos estratégicos y, por tanto, los acuerdos vinculantes entre los jugadores no son posibles [2].

La equidad y la justicia puede ser mejor entendido en el marco de la construcción de acuerdos y la necesidad de consenso entre los participantes al darse los resultados de un acuerdo de cooperación. Los beneficios de acuerdos cooperativos también pueden ser entendidos en el sentido en el que las ganancias entre los participantes no son sólo en términos de recursos monetarios sino también en términos de bienestar, derechos, oportunidades, que no existirían sin acuerdos. Quizás uno de los argumentos más importantes en favor de planes de cooperación es que una vez que existe una cierta equidad asociada con un acuerdo como resultado del proceso

de negociación, y una vez que el acuerdo coincide con la aceptación de costos y beneficios que incurren los participantes, la estabilidad del acuerdo tiene una mejor oportunidad de sobrevivir en el tiempo en comparación con los regímenes no cooperativos. [2; 3; 4].

Respecto al proceso de generación de modelos de recursos hídricos aplicados, los modelos de comportamiento cooperativo son más comunes que los modelos no cooperativos [5]. El modelo de cooperación utilizado en este documento, es de uso general y tiene las características de los modelos de teoría de juegos. En estos los jugadores son racionales y sus decisiones están interrelacionadas. Asimismo, los jugadores tienen muy bien definidos sus objetivos y han creado expectativas, sobre su comportamiento. El argumento de la racionalidad esta soportado en el supuesto de que los beneficios conjuntos de toda la cuenca se prefieren sobre los beneficios de un solo país y que un acuerdo de cooperación conduce a las mayores ganancias. Sin embargo, una decisión basada en la maximización del bienestar de la cuenca puede limitar otro tipo de interacción entre los usuarios de la cuenca, tal y como son los mecanismos de mercado o problemas a la hora de la percepción en los que la equidad depende de las cuestiones particulares del acuerdo que no estén suficientemente claras o bien porque la decisión conjunta es una consecuencia de la vinculación de las estrategias no siempre representadas en un acuerdo de asignación del uso de la cuenca [2; 4; 6; 7].

## Modelado de la cooperación

El modelo utilizado en este documento tiene dos elementos muy comunes en los sistemas de adjudicación de los recursos naturales. Uno de los elementos es la elección de la cantidad total de agua que se distribuirá entre los dos países: el acuerdo formal considera el valor esperado del flujo de agua y el acuerdo informal considera la realización del flujo de agua para un año determinado. El segundo elemento es el método o la elección en la que la asignación se lleva a cabo. En este análisis es la maximización de los beneficios netos conjuntos entre los dos países y el sistema es un modelo cooperativo. Al elegir el modelo se intento captar la idea de que un acuerdo formal puede ser sostenido en el tiempo, pero que cuando surgen problemas los acuerdos informales sirven como soluciones temporales.

El modelo utilizado en este documento se utiliza ampliamente en la teoría de juegos cooperativos [2], así como en estudios de casos en los recursos hídricos transfronterizos [8]. Los principales supuestos son que, en virtud de la cooperación, la gestión de los recursos por los dos países tiene

lugar mediante un acuerdo vinculante que es factible en la medida en que evita costos de transacción más elevados. En cuanto a los acuerdos informales, suponen costos de transacción, pero dado que sólo se utiliza para soluciones temporales, los costos de transacción son inferiores que los de una renegociación de los acuerdos formales. Esto significa que los acuerdos informales tienen la ventaja de permitir la continuación de los acuerdos formales. En otras palabras, la existencia de acuerdos informales reduce la necesidad de renegociación de los acuerdos formales.

En el contexto de los recursos hídricos transfronterizos, la escasez de agua es quizás el principal problema que tienen los países que comparten una cuenca a causa de las asimetrías que tienen los países en relación con los beneficios que obtienen de la utilización de dichos recursos hídricos. El aumento de la demanda de los recursos y la disminución de los mismos justifica la necesidad estratégica de compartir los beneficios propios del uso de los recursos mediante un acuerdo en algún esquema de cooperación. [9; 10; 11; 12; 13].

La cooperación a nivel internacional es posible con acuerdos que son posibles de ejecutar pero que a menudo no tienen una instancia internacional que pueda hacerlos cumplir [9] Así pues, los acuerdos informales pueden ser una solución más estable para que los acuerdos que no son sostenibles, se cumplan. Además, el entendimiento de las instituciones transfronterizas que se generan con los acuerdos, permiten el estudio de instituciones internacionales pues proporcionan orientación sobre cómo construir relaciones y, en su caso, cómo modificar las instituciones para dar cabida a eventos actuales [14]..

Si bien hay una extensa literatura sobre el tema de los acuerdos formales, su creación y su formalización, [1; 9; 11; 15; 16; 17], existe un menor número de análisis sobre lo que ocurre posteriormente a cuando un acuerdo formal ha sido ratificado. El comportamiento del acuerdo posterior es necesario para comprender, que las negociaciones todavía tienen lugar y son una cuestión de la actividad diaria. La diferencia es tal vez, que los costos de transacción asociados con un acuerdo posterior dependerán de otros elementos, como la ejecución, la eficiencia y el cumplimiento. [17]. Este documento pertenece a la literatura de los acuerdos institucionales posterior a los acuerdos oficiales dándole un dinamismo al estudio de la iteración entre los distintos participantes de un acuerdo formal.

**Método analítico**

En el método analítico se demuestra la estimación de los acuerdos formales e informales. Comparo el beneficio neto conjunto de cada acuerdo para encontrar los beneficios potenciales de establecer los acuerdos informales y demuestro la generación de acuerdos formales e informales que pueden ser sostenibles en el tiempo. Al efecto, procedo primero desarrollando un modelo general considerando un parámetro de negociación dentro del rango $0 < \theta < 1$, en el supuesto de que los gobiernos toman decisiones para maximizar su bienestar conjunto. Segundo, demuestro que los acuerdos informales tienen un beneficio mayor o igual a los beneficios netos de los acuerdos formales para los diferentes valores de los parámetros de negociación. Tercero, analizo los casos particulares para los que el modelo general es limitado al evaluar los casos en lo que un país tiene todo el poder de negociación, esto es cuando $\theta = 0$ y $\theta = 1$. Finalmente propongo un acuerdo formal e informal que pueden ser sostenidos en el tiempo.

**Modelo**

Definición 1. Supuestos

1. Hay dos países que comparten una cuenca: un país se encuentra en la cuenca superior y el otro en la cuenca inferior.
2. Todo el flujo se origina en la cuenca superior.
3. Las decisiones de los gobiernos son las de maximizar los beneficios conjuntos que son iguales a la suma de los beneficios netos sobre el uso del recurso por cada país.

Sea $W$ = una variable aleatoria que representa el flujo total de agua disponible para el país en la cuenca superior. La variable aleatoria es independiente e idénticamente distribuida a lo largo del tiempo.

Sea $X_u$ = el consumo de agua del país en la cuenca superior.

Sea $X_d$ = el consume de agua del país en la cuenca inferior.

Sea $U_u(X_u) = U_u(W - X_d)$ = Los beneficios netos del país en la cuenca superior que se suponen estrictamente cóncavos con $U_u'(X_u) > 0$ y $U_u''(X_u) < 0$

Sea $U_d(X_d)$ = Los beneficios netos del país en la cuenca inferior que se suponen estrictamente cóncavos con $U_d'(X_d) > 0$ y $U_d''(X_d) < 0$.

Sea $\theta$ = Un parámetro de negociación propio del país en la cuenca superior y $(1-\theta)$ el parámetro de negociación del país en la cuenca inferior.

Para facilidad de análisis, asuma una función de beneficio cuadrática de la forma $U_i(X_i) = a_i X_i + b_i X_i^2$ con restricción $b_i < 0$ y $a_i \geq -2b_i X_i$ para asegurar beneficios marginales no negativos.

El modelo identifica la relación del flujo del recurso hídrico para cada país. Compartir el recurso implica que el país en la cuenca superior no consume el total del flujo disponible y deja pasar flujo al país en la cuneca inferior gracias a la existencia de un acuerdo formal o tratado internacional de aguas. Ante la ausencia de un tratado u otro acuerdo, el país en la cuenca superior consumirá la cantidad $X_u \leq W_t$ que maximice su utilidad antes que compartir agua con el país en la cuenca inferior.

Definición 2: El acuerdo formal

El acuerdo formal es una regla consensuada entre los países para que el país de la cuenca superior entregue una cantidad fija al país en la cuenca inferior. Modelo una cantidad fija para probar que hay ganancias al crear acuerdos informales bajo una especificación en la que los países tienen un parámetro de negociación en el rango $0 < \theta < 1$.

Suponga que ambos países negocian una cantidad fija para la cuenca inferior $\tilde{X}_d$ que maximiza los beneficios netos esperados $E[J(\theta, W - X_{d,}, X_d, W)]$. El problema es:

$$\max_{X_d} E\left[\theta U_u(W - X_d) + (1-\theta)U_d(X_d)\right] = \int_0^{\infty} \left[\theta U_u(W - X_d) + (1-\theta)U_d(X_d)\right] f(W)\,dW \qquad (1)$$

Utilizando la función de beneficio, la maximización se puede representar como:

$$\max_{X_d} E\left[\theta a_u(W - X_d) + \theta b_u(W - X_d)^2 + (1-\theta)a_d X_d + (1-\theta)b_d {X_d}^2]\right]$$

La derivada del los beneficios netos esperados con respecto a $X_d$ es:

$$-\theta a_u X_d - 2\theta b_u(W - X_d) + (1-\theta)a_d + 2(1-\theta)b_d X_d = G_F(\theta, W, X_d)$$

Y como $W$ es una variable aleatoria, el problema es encontrar $\tilde{X}_d$ que satisfaga

$$\int_0^{\infty} G_F(\theta, W, X_d) f(W) dW = 0$$

Con solución:

$$\tilde{X}_d = \frac{\theta a_u - (1-\theta) a_d + 2\theta b_u E(W)}{2[\theta b_u + (1-\theta) b_d]} \tag{2}$$

donde

$$E(W) = \int_{-\infty}^{\infty} W f(W) dW$$

Y los beneficios netos son:

$$J_F(\theta, \tilde{X}_d, W) = \theta U_u(W - \tilde{X}_d) + (1-\theta) U_d(\tilde{X}_d) \tag{3}$$

Lo cual es la política que representa el acuerdo formal y que se comparara con el acuerdo informal.

Definición 3: El acuerdo informal

El acuerdo informal es un acuerdo temporal sobre una distribución fija en la que el país de la cuenca superior acuerda entregar al país de la cuenca inferior. Es una política de un solo periodo basado en la distribución óptima $X_d^*$ que maximice el beneficio neto dado una realización de la variable aleatoria $W$. El problema es maximizar los beneficios netos $J[\theta, W - X_d, X_d, W]$ y el problema es:

$$\max_{X_d} [\theta U_u(W - X_d) + (1-\theta) U_d(X_d)] \tag{4}$$

Con solución:

$$X_d^* = \frac{\theta a_u - (1-\theta) a_d + 2\theta b_u W}{2[\theta b_u + (1-\theta) b_d]} \tag{5}$$

Y utilidad neta:

$$J_I(\theta, X_d^*, W) = J[\theta U_u(W - X_d^*) + (1-\theta) U_d(X_d^*)] \tag{6}$$

Esta política es el acuerdo informal y se debe de comparar con el acuerdo formal

Definición 4: El punto de saciedad

El punto de saciedad es aquel en el que un país tiene beneficios marginales iguales a cero y se obtiene con la condición de primer orden de la función de beneficio.

Sea $\phi_d = -\frac{a_d}{2b_d}$ el punto de saciedad del país en la cuenca inferior. (7)

Sea $\phi_u = -\frac{a_u}{2b_u}$ el punto de saciedad del país en la cuenca superior. (8)

**Proposición 1: En condiciones generales siempre hay ganancias positivas al establecer acuerdos informales con el parámetro de negociación en el rango $0 < \theta < 1$ para alguna $W_t$.**

Considere la definición 2 y 3 en la que el beneficio conjunto neto de un acuerdo formal es:

$J_F(\theta, \tilde{X}_d, W) = \theta U_u[W - \tilde{X}_d(\theta)] + (1-\theta)U_d[\tilde{X}_d(\theta)]$ donde

$\tilde{X}_d(\theta) = \frac{\theta a_u - (1-\theta)a_d + 2\theta b_u E(W)}{2[\theta b_u + (1-\theta)b_d]}$, y el beneficio conjunto neto de un acuerdo informal es

$J_I(\theta, X_d^*, W) = \theta U_u[W - X_d^*(\theta, W)] + (1-\theta)U_d[X_d^*(\theta, W)]$

donde $X_d^*(\theta, W) = \frac{\theta a_u - (1-\theta)a_d + 2\theta b_u W}{2[\theta b_u + (1-\theta)b_d]}$

Las ganancias netas de establecer acuerdos informales es la diferencia entre los beneficios conjuntos netos entre un acuerdo informal y uno formal:

$$G(\theta, X_d^*, \tilde{X}_d, W) = J_I(\theta, X_d^*, W) - J_F(\theta, \tilde{X}_d, W)$$
$$= \theta U_u[W - X_d^*(\theta, W)] + (1-\theta)U_d[X_d^*(\theta, W)] - \theta U_u[W - \tilde{X}_d(\theta)] - (1-\theta)U_d[\tilde{X}_d(\theta)]$$

Definición 5: Considere el acuerdo informal y el formal de las definiciones 3 y 2 respectivamente y sea: $\frac{\theta a_u - (1-\theta)a_d}{2[\theta b_u + (1-\theta)b_d]} = A$, y $\frac{\theta b_u}{[\theta b_u + (1-\theta)b_d]} = B$,

El acuerdo informal se puede reducir a: $X_d^*(\theta, W) = A + BW$ y de manera similar el acuerdo formal se puede reescribir como: $\tilde{X}_d(\theta) = A + BE(W)$

Prueba

Para demostrar que $G(\theta, X_d^*, \tilde{X}_d, W) \geq 0$ esto es, la ganancia neta de los beneficios conjuntos netos al establecer acuerdos informales para cualquier valor de $\theta$ en el rango (0,1) es siempre mayor o igual que cero para algún $W_t$ ; primero hay que reescribir el acuerdo formal e informal utilizando las definiciones 1, 2, 3, y 5 anteriores.

Los beneficios conjuntos netos del acuerdo informal son:

$J_I(\theta, X_d^*, W) = \theta U_u[W - A - BW] + (1-\theta)U_d[A + BW]$, y utilizando la función cuadrática obtenemos:

$$J_I(\theta, X_d^*, W) = \theta[a_u(W - A - BW) + b_u(W - A - BW)^2] + (1-\theta)[a_d(A + BW) + b_d(A + BW)^2]$$

Y expandimos para obtener

$$J_I(\cdot) = \theta a_u[W - A - BW] + \theta b_u[W^2 - 2AW + 2ABW - 2BW^2 + A^2 + B^2W^2] + (1-\theta)[a_d(A + BW) + b_d(A^2 + 2ABW + B^2W^2)] \quad (9)$$

De manera similar, el acuerdo formal utilizando las definiciones 1, 2, 3, y 5:

$J_F(\theta, \tilde{X}_d, W) = \theta U_u[W - A - BE(W)] + (1-\theta)U_d[A + BE(W)]$, y utilizando la función cuadrática obtenemos:

$$J_F(\theta, \tilde{X}_d, W) = \theta[a_u(W - A - BE(W)) + b_u(W - A - BE(W))^2] + (1-\theta)[a_d(A + BE(W)) + b_d(A + BE(W))^2]$$

Y expandimos para obtener

$$J_F(\cdot) = \theta a_u[W - A - BE(W)] + \theta b_u[W^2 - 2AW + 2ABE(W) - 2BWE(W) + A^2 + B^2E(W)^2] + (1-\theta)[a_d(A + BE(W)) + b_d(A^2 + 2ABE(W) + B^2E(W)^2)] \quad (10)$$

Ahora comparamos (9) y (10) para encontrar las ganancias: $G(\cdot) = J_I(\cdot) - J_F(\cdot) \geq 0$

Para facilitar la comparación, reducimos y recolectamos términos para obtener:

$$G(\cdot) = \theta a_u B[E(W) - W] + \theta b_u[2AB(W - E(W)) + 2B(WE(W) - W^2) + B^2(W^2 - E(W)^2)] + (1-\theta)[a_d B(W - E(W)) + b_d(2AB(W - E(W)) + B^2(W^2 - E(W)^2))] \quad (11)$$

Para comparar todos los términos y demostrar que las ganancias son siempre mayores que o iguales a cero, necesitamos demostrar que los casos a) $E(W) = W_t$ y b) $E(W) \neq W_t$. Tienen ganancias iguales o mayores a cero.

Para el caso a) $E(W) = W_t$ considere (11) arriba. Por inspección se puede demostrar que las ganancias son siempre iguales a cero. Para el caso b) $E(W) \neq W_t$ defina:

Definición 6

Considere definición 5 donde $A = \frac{\theta a_u - (1-\theta)a_d}{2[\theta b_u + (1-\theta)b_d]}$, y $B = \frac{\theta b_u}{[\theta b_u + (1-\theta)b_d]}$

Defina: $k = [\theta b_u + (1-\theta)b_d]$; y $m = \theta a_u - (1-\theta)a_d$

Reescriba A y B en términos de $k$ y $m$ para obtener:

$$A = \frac{m}{2k} \quad and \quad B = \frac{\theta b_u}{k}$$

Reescriba (11) en términos de la definición 6, reduzca y recolecte términos para obtener:

$$G(\cdot) = \frac{\theta b_u m}{k}[E(W) - W] + \frac{\theta^2 b_u^2}{k}[W^2 - E(W)^2]$$
$$+ \frac{\theta b_u m}{k}[W - E(W)] + \frac{2\theta^2 b_u^2}{k}[WE(W) - W^2]$$

Finalmente compare términos

$$G(\cdot) = \frac{\theta b_u m}{k}[E(W) - W + W - E(W)] + \frac{\theta^2 b_u^2}{k}[-W^2 - E(W)^2 + 2WE(W)]$$
$$G(\cdot) = -\frac{\theta^2 b_u^2}{k}[W - E(W)]^2 \qquad (12)$$

Por definición 1 y definición 6 se puede ver que dado que $k < 0$ el producto en el lado derecho es positivo y por lo tanto la comparación de ganancias siempre es positiva para el caso en que $E(W) \neq W_t$.

*QED*

**Análisis de los acuerdos formales e informales cuando el parámetro del poder de negociación se encuentra en los extremos**

Dada la configuración del modelo, es posible que un país tenga toda todo el poder de negociación, en cuyo caso el resultado de la negociación dependerá exclusivamente del mejor resultado posible que pueda obtener el país más poderoso y los beneficios de establecer acuerdos informales serán cero o positivos en función de esos parámetros de poder de negociación. Comenzaremos por el análisis de los extremos y sus casos generales para después pasar a los casos particulares.

**Corolario 1.1**[4] El acuerdo formal e informal estimado en la definición 2 y 3 respectivamente en el modelo general puede no ser sostenible cuando $\theta = 0$ para cualquier nivel de flujo $W_t$ para alguna $t$. El acuerdo formal es entonces $\min[W_t, \tilde{X}_d]$ y el acuerdo informal es entonces $\min[W_t, X_d^*]$ y las ganancias de establecer acuerdos informales son siempre iguales a cero cuando el parámetro de poder de negociación es $\theta = 0$ para cualquier nivel de flujo $W_t$ para cualquier $t$

**Corolario 1.2** El acuerdo formal e informal estimado en la definición 2 y 3 respectivamente en el modelo general puede no ser sostenible cuando $\theta = 1$ para cualquier nivel de flujo $W_t$ para alguna $t$. El acuerdo formal es entonces $\min[W, \max(0, \tilde{X}_d)]$ y el acuerdo informal es entonces $\max[0, X_d^*(W)]$ y las ganancias de establecer acuerdos informales cuando $\theta = 1$ son iguales o mayores a cero para cualquier nivel de flujo $W_t$ para cualquier $t$.

Al reunir los conceptos definidos en el método analítico y los resultados de la Proposición 1 y los Corolarios 1.1 y 1.2 se puede demostrar que todos los conceptos y las pruebas para la estimación de los acuerdos formales e informales permiten elaborar la siguiente política:

**Proposición 2: Las políticas de los acuerdos para todos los niveles de flujo $W_t$ para todo $t$ y el parámetro del poder de negociación en la región [0,1] son para el acuerdo formal: $\min[W_t, \max(0, \tilde{X}_d)]$ y para el acuerdo informal $\min[W_t, \max(0, X_d^*(W))]$. Estas políticas garantizan que las ganancias de establecer acuerdos informales sean siempre $G(\cdot) \geq 0$ y sean sostenibles.**

[4] Las pruebas de ambos corolarios se encuentran en el anexo a fin de facilitar la lectura del documento.

Prueba

Por la Proposición 1 la regla del acuerdo formal es $\tilde{X}_d$, y la regla del acuerdo informal es $X_d^*$ y las ganancias son $G(\cdot) \geq 0$ para todos los niveles de flujo $W_t$ para alguna $t$ con parámetro del poder de negociación en la región (0,1).

Por el corolario 1.1 el acuerdo formal es $\min[W_t, \tilde{X}_d]$ y el acuerdo informal es $\min[W_t, X_d^*(W)]$ y las ganancias por establecer acuerdos informales son iguales a cero cuando el parámetro de negociación es $\theta = 0$ para todos los niveles de flujo $W_t$ para todo $t$.

Por el corolario 1.2 el acuerdo formal es $\min[W, \max(0, \tilde{X}_d)]$ y el acuerdo informal es $\max[0, X_d^*(W)]$ y las ganancias por establecer acuerdos informales cuando $\theta = 1$ son mayores o iguales a cero para todos los niveles de flujo $W_t$ para todo $t$.

Cuando $\theta$ es cercana a los casos extremos 0, 1 pero no necesariamente 0 o 1; La proposición 1 puede resultar en acuerdos formales o informales que toman valores negativos y con ganancias no negativas. Al incluir en la política los resultados de los Corolarios 1.1 y 1.2 el problema es eliminado ya que estas políticas no permiten distribuciones de agua negativas. La política es entonces: Para el acuerdo formal $\min[W, \max(0, \tilde{X}_d)]$ y para el acuerdo informal $\min[W, \max(0, X_d^*(W))]$. Estas políticas garantizan que las ganancias de establecer acuerdos informales sean siempre $G(\cdot) \geq 0$ para todos los niveles de flujo $W_t$ para todo $t$ y todos los parámetros del poder de negociación en la región [0,1].

*QED*

**Caso de estudio: El Río Colorado**

El Río Colorado atraviesa 1,450 kilómetros de montañas y desiertos en un área aproximada de 629,100 km ². Abastece de agua a más de 25 millones de personas y ayuda para el riego de 1.5 millones de hectáreas de tierras agrícolas. El Río Colorado comparte una frontera de 22 kilómetros entre Mexico y los Estados Unidos y termina en el Golfo de California (Mar de Cortés). La cuenca está dividida en dos, la parte superior e inferior, y es compartida por dos países, los Estados Unidos y Mexico. La alta cuenca es compartida por los estados de Utah, Wyoming, Colorado y Nuevo México mientras que la parte baja de la cuenca es compartida por

los estados de California, Arizona y Nevada, todos en los Estados Unidos, donde el último usuario es Mexico. La parte superior e inferior de las cuencas en los Estados Unidos cada año se asignan 9.25 kilómetros cúbicos cada uno del Río Colorado en el marco del Convenio de 1922. Y entregan a Mexico 1.85 kilómetros cúbicos de agua en el marco del Tratado de Agua de 1944. Estas instituciones oficiales, así como otros numerosos acuerdos, contratos, y las decisiones judiciales se conocen como la "Ley del Río" y dan forma a las instituciones que gobiernan la iteración entre los diversos usuarios del río. El Río Colorado es quizás uno de los ríos más regulados del mundo a través de múltiples puntos de desviación, embalses, canales y proyectos de infraestructura que permiten que el recurso hídrico llegue a todos los usuarios de la cuenca. Estas instituciones están formalizadas y sin embargo son limitadas en tanto hay oportunidades de mejorar la asignación del recurso al hacer frente a la incertidumbre y condiciones variables del mismo.

**Datos**

El período de análisis es de 1944 a 2006 y utiliza datos públicos de la Oficina de Reclamación de Aguas Norteamericana, el Servicio Geológico Norteamericano y la Comisión Internacional de Límites y Aguas.[5] Este conjunto de datos representa el flujo natural acumulado del río medido en las diversas estaciones a lo largo del mismo y es el flujo que utilizado por la oficina de reclamación para desarrollar los modelos utilizados la planificación de políticas en el Río Colorado. El flujo natural del río sirve para estimar el acuerdo formal y el acuerdo informal necesarios para ejemplificar las ganancias generadas por el establecimiento de estos últimos.

[Insertar figura 1 aquí]

Figura 1. Flujo del Río Colorado en el tiempo.

Fuentes: Oficina de Reclamación, Servicio Geológico y Comisión de Limites y Aguas.

[5] http://www.usbr.gov/lc/region/g4000/NaturalFlow/current.html

Estimación de la demanda y funciones de beneficio

Calcule una función lineal de la demanda basado en datos empíricos de cada país. La elección de una demanda lineal se debe a: 1) Es analíticamente manejable y permite comprender el fenómeno de la asignación de agua que de otro modo no podría ser fácilmente representada. 2) Una demanda lineal permite diferentes niveles de elasticidad permitiendo así considerar a varios usuarios del recurso como el servicio doméstico, en zonas urbanas y, en la agricultura. Una elasticidad de la demanda constante no permite este análisis. Y 3) Una demanda lineal implica que hay un punto de saciedad para cada país lo que realísticamente permite considerar que hay un máximo de agua susceptible de consumo.

Para calcular la demanda, estime en primer lugar la cantidad media de agua disponible en cada cuenca, posteriormente multiplique la cuota geográfica de la cuenca en cada país para fijar la función de demanda respecto al precio y la elasticidad. El precio del agua por país y cuenca se estimó mediante el porcentaje de uso del agua para la agricultura, los usuarios domésticos e industriales en cada país con datos públicos [18].

Con las variables de precio por usuario, porcentaje de utilización de agua, media agua y la elasticidad de los precios, fije la demanda y estime la pendiente y el intercepto para cada usuario. A continuación, sume la demanda de los usuarios para encontrar la función de demanda agregada de cada país en la cuenca. Por último estime la función inversa de la demanda e integre para encontrar la función de beneficios de cada país. De esta manera, las funciones para cada país son:

[Insertar Tabla 1 aquí]

**Análisis de las ganancias y la aplicación al mismo**

Al utilizar el método analítico descrito en la segunda sección del documento, se incorpora el concepto de la generación de instituciones o acuerdos formales e informales en la gestión de la cuenca. Al efecto, modele los acuerdos utilizando el flujo natural de la cuenca y los datos actuales de la asignación a Mexico de las aguas del Río Colorado. Esta aproximación generada

con la Proposición 2, es luego comparada con la asignación de aguas efectiva para encontrar el parámetro del poder de negociación mediante minimizar la suma de la diferencia al cuadrado entre asignaciones actuales y modeladas. Así, encontré que el parámetro de negociación $\theta = 0.503$ sugiere que ambas naciones cooperan activamente en la gestión de la cuenca, lo que de hecho es cierto si consideramos las actividades concurrentes que toma la Comisión de Límites y Aguas en sus actividades diarias. La Figura 2 representa tanto la asignación actual como la asignación modelada a efectos de poder comparar los beneficios de ambas políticas.

[Insertar figura 2 aquí]

Figura 2. Instituciones del Río conforme al modelo analítico.

Fuente. Elaboración propia y Oficina de Reclamación, Servicio Geológico y Comisión de límites.

Sin embargo, hay posibilidad de mejora en relación a la política formal, basada en el Tratado de Aguas de 1944 y una asignación temporal basada en el establecimiento de los acuerdos informales. Si bien la cooperación ha existido a lo largo de los años, la posibilidad conforme crezca la demanda de agua en ambos países y la variabilidad por el impacto que pueda sufrir la cuenca ante el cambio climático, requiere que esta institución formal sea transformada o al menos revisada para permitir acomodar los efectos inciertos del flujo del recurso. En este sentido es precisamente como la generación de acuerdos informales como soluciones temporales, puede demostrar su eficacia ya que los costos de transacción de llevar cabo estas operaciones son menores que la renegociación ante los congresos de cada país del Tratado de Aguas. En ese sentido, y como se demuestra en el método analítico en la Proposición 1, existen ganancias por hacer en el marco institucional sin que sea necesario que se renegocie el acuerdo formal, esto desde luego, a partir del establecimiento de los acuerdos informales. Al utilizar el marco analítico, pudimos encontrar que las ganancias en benficios conjuntos netos promedio, si solo se utilizara un acuerdo informal a lo largo del tiempo, serian de 3.5% respecto a los beneficios del acuerdo formal. Este parece no tener demasiado impacto si consideramos que existe una clara cooperación entre los países; pero si puede haber bastante impacto, una ganancia en beneficios conjuntos netos de hasta el 19% de acuerdo a los datos actuales cuando exista demasiada variabilidad, que es precisamente la razón por la que los acuerdos informales pueden servir como soluciones temporales ante la escasez y la incertidumbre propia de una cuenca tan importante como lo es la del Río Colorado. La figura 3 grafica las ganancias potenciales en el tiempo si se hubiesen generado los acuerdos informales. Cabe mencionar que es una estimación basada en los supuestos de demanda, funciones de beneficio y desde luego, modelaje de la asignación actual, y

sin embargo permite ver que la política de asignación manejada puede ser aun más eficiente sin que se generen, teóricamente, conflictos por la redistribución del preciado líquido.

[Insertar figura 3 aquí]

Figura 3. Ganancias Potenciales del establecimiento de acuerdos informales..

Elaboración Propia.

**Conclusiones**

En este trabajo he desarrollado un método de análisis de las posibles ventajas de establecer acuerdos informales en los recursos hídricos transfronterizos. He utilizado un modelo cooperativo que maximiza los beneficios netos conjuntos entre los países que comparten los recursos hídricos. Al hacerlo, he utilizado un modelo que representa los beneficios de cada país en una cuenca ponderado por el poder de negociación que cada país tiene en relación a otro país. Al utilizar el parámetro del poder de negociación en el rango [0,1] pude establecer un acuerdo formal y uno informal que tiene una parte fija y una variable en los extremos, es decir, cuando el parámetro de negociación está próximo a 0 o 1, una parte variable se vuelve indispensable para tener en cuenta las cuestiones de bajo flujo de agua por ejemplo. He demostrado que siempre se pueden generar ganancias con el establecimiento de acuerdos informales, independientemente del nivel de negociación de los parámetros. La aplicación empírica del análisis estuvo basada en el caso de Río Colorado compartido entre Mexico y los Estados Unidos, al efecto, estime las demandas de agua de cada país y sus funciones de beneficio. En el análisis, utilice datos reales para establecer los acuerdos formales e informales conforme al método analítico y demostré empíricamente que hay ganancias por repartir al establecer dichos acuerdos, adicionalmente, utilice los datos de la asignación de agua a Mexico para encontrar el poder de negociación entre los Estados Unidos y Mexico y encontré que este parámetro es muy cercano a 0.5 lo que representa un grado de cooperación bastante alto entre los países. Adicionalmente encontré que en promedio las ganancias de la asignación de aguas por medio del establecimiento de acuerdos informales es de 3.4%. aunque en casos de mucha variabilidad esta ganancia puede ser de hasta el 19%

Anexo I. Corolarios

**Corolario 1.1** El acuerdo formal e informal estimado en la definición 2 y 3 respectivamente en el modelo general puede no ser sostenible cuando $\theta = 0$ para cualquier nivel de flujo $W_t$ para alguna $t$. El acuerdo formal es entonces $\min[W_t, \tilde{X}_d]$ y el acuerdo informal es entonces $\min[W_t, X_d^*]$ y las ganancias de establecer acuerdos informales son siempre iguales a cero cuando el parámetro de poder de negociación es $\theta = 0$ para cualquier nivel de flujo $W_t$ para cualquier $t$

Prueba:

Sea $\theta = 0$ Esto es, el usuario de la Cuenca inferior tiene todo el poder de negociación.

Por la definición 2, 3 y 4 el acuerdo formal es

$$\tilde{X}_d(\theta) = \frac{\theta a_u - (1-\theta)a_d + 2\theta b_u E(W)}{2[\theta b_u + (1-\theta)b_d]} = -\frac{a_d}{2b_d} = \phi_d \qquad (13)$$

Y de manera similar, el acuerdo informal para $\theta = 0$ es

$$X_d^*(\theta, W) = \frac{\theta a_u - (1-\theta)a_d + 2\theta b_u W}{2[\theta b_u + (1-\theta)b_d]} = \frac{-a_d}{2b_d} = \phi_d \qquad (14)$$

Condición a: Suponga flujo alto donde $W_t \geq \phi_d$

Bajo estas circunstancias el usuario de la cuenca superior garantiza $\phi_d$ al usuario de la cuenca inferior tanto en el acuerdo formal como en el informal y el usuario de la cuenca superior se queda con la diferencia $W_t - \phi_d$. Dado que el usuario de la cuenca inferior tiene todo el poder de negociación, la función de beneficios de la cuenca superior es valuada en cero dado que $\theta = 0$.

Condición b: Suponga flujo bajo donde $W_t < \phi_d$

Bajo estas circunstancias el usuario de la cuenca superior garantiza $W_t$ a la cuenca inferior y la cuenca superior no retiene agua ni en el acuerdo formal ni en el acuerdo informal.

El siguiente paso es comparar las ganancias de establecer acuerdos informales al sustituir los acuerdos en la función conjunta de beneficios netos como sigue:

$$G(\theta, X_d^*, \tilde{X}_d, W) = J_I(\theta, X_d^*, W) - J_F(\theta, \tilde{X}_d, W)$$
$$= \theta U_u[W - X_d^*(\theta, W)] + (1-\theta)U_d[X_d^*(\theta, W)] - \theta U_u[W - \tilde{X}_d(\theta)] - (1-\theta)U_d[\tilde{X}_d(\theta)]$$

Para $\theta = 0$

$$G(\cdot) = U_d[X_d^*(\theta, W)] - U_d[\tilde{X}_d(\theta)] \qquad (15)$$

Bajo la condición a: el flujo alto es tal que $W_t \geq \phi_d$

$X_d^*(\theta, W) = -\frac{a_d}{2b_d} = \phi_d$ y $\tilde{X}_d(\theta) = -\frac{a_d}{2b_d} = \phi_d$ Substituyendo en 15 para obtener $G(\cdot) = 0$

Bajo la condición b: el flujo bajo es tal que $W_t < \phi_d$

$X_d^*(W) = W_t$ y $\tilde{X}_d = W_t$ Substituyendo en 15 para obtener $G(\cdot) = 0$

El resultado puede ser generalizado utilizando 12 de la Proposición 1 donde las ganancias son:

$$G(\cdot) = \frac{\theta b_u m}{k}[E(W) - W + W - E(W)] + \frac{\theta^2 b_u^2}{k}[-W^2 - E(W)^2 + 2WE(W)]$$
$$G(\cdot) = -\frac{\theta^2 b_u^2}{k}[W - E(W)]^2$$

Dado que $\theta = 0$ por inspección se puede ver que $G(\cdot) = 0$

Por lo tanto, la regla del acuerdo formal cuando $\theta = 0$ es $\min[W_t, \tilde{X}_d]$ y la regla del acuerdo informal cuando $\theta = 0$ es $\min[W_t, X_d^*]$ y las ganancias al comparar acuerdos es $G(\cdot) \geq 0$ para toda $t$.

*QED*

**Corolario 1.2** El acuerdo formal e informal estimado en la definición 2 y 3 respectivamente en el modelo general puede no ser sostenible cuando $\theta = 1$ para cualquier nivel de flujo $W_t$ para alguna $t$. El acuerdo formal es entonces $\min[W, \max(0, \tilde{X}_d)]$ y el acuerdo informal es entonces $\max[0, X_d^*(W)]$ y las ganancias de establecer acuerdos informales cuando $\theta = 1$ son iguales o mayores a cero para cualquier nivel de flujo $W_t$ para cualquier $t$.

Prueba:

Sea $\theta = 1$ Esto es, el usuario de la cuenca superior tiene todo el poder de negociación.

Por definición 2, 3 y 4 el acuerdo formal es:

$$\tilde{X}_d(\theta) = \frac{\theta a_u - (1-\theta)a_d + 2\theta b_u E(W)}{2[\theta b_u + (1-\theta)b_d]} = \frac{a_u}{2b_u} + E(W) = -\phi_u + E(W) \qquad (16)$$

Y el acuerdo informal es: $X_d^*(\theta, W) = \frac{\theta a_u - (1-\theta)a_d + 2\theta b_u W}{2[\theta b_u + (1-\theta)b_d]} = \frac{a_u}{2b_u} + W = -\phi_u + W$

(17)

Esto significa que el usuario de la cuenca superior garantiza al usuario de la cuenca inferior una cantidad igual a la diferencia entre su punto de saciedad y el valor esperado del flujo de agua en el caso del acuerdo formal y una cantidad igual a la diferencia entre su punto de saciedad y la realización de la variable aleatoria $W$ en el acuerdo informal. Sin embargo, es necesario analizar las posibles condiciones de flujo alto y bajo tal y como se hizo en el Corolario 1.

Condición c. Supónga flujo alto donde $W_t \geq \phi_u$ y $W_t \neq E(W)$ para alguna $t$.

Bajo estas circunstancias la cuenca superior garantiza a la cuenca inferior un acuerdo formal igual a $\tilde{X}_d = -\phi_u + E(W)$ y la cuenca superior no necesariamente consume hasta su punto de saciedad ya que el acuerdo formal restringe la asignación a compartir con la cuenca inferior independientemente de la función de beneficio de la cuenca inferior. De manera similar, el acuerdo informal garantiza a la cuenca inferior la porción igual a $X_d^* = -\phi_u + W_t$ y la cuenca superior no necesariamente consume hasta su punto de saciedad ya que el acuerdo formal

restringe la asignación a compartir con la cuenca inferior independientemente de la función de beneficio de la cuenca inferior.

Si la condición c se mantiene, las ganancias son:

$$G(\cdot) = U_u[W - \frac{a_u}{2b_u} - W] + (0)U_d[\frac{a_u}{2b_u} + W] - U_u[W - \frac{a_u}{2b_u} - E(W)] - (0)U_d[\frac{a_u}{2b_u} + W] = \quad (18)$$
$$G(\cdot) = U_u[-\frac{a_u}{2b_u}] - U_u[W - \frac{a_u}{2b_u} - E(W)]$$

Para probar que las ganancias son positivas, utilice la función cuadrática de la definición 1 y substituya en (18) para obtener:

$$G(\cdot) = a_u(-\frac{a_u}{2b_u}) + b_u(-\frac{a_u}{2b_u})^2 - a_u[W - \frac{a_u}{2b_u} - E(W)] - b_u[W - \frac{a_u}{2b_u} - E(W)]^2$$

Reduciendo y recolectando términos:

$$G(\cdot) = -\frac{a_u^2}{4b_u} + \frac{a_u^2}{4b_u} - b_u W^2 - b_u E(W)^2 + 2b_u W E(W) \quad (19)$$
$$G(\cdot) = -b_u(W - E(W))^2 \geq 0$$

Y dado que $b_i < 0$ por la definición 1, las ganancias son mayores o iguales que cero.

Condición d. Suponga alto flujo donde $W_t \geq \phi_u$ y $W_t = E(W)$ para alguna $t$.

Tal y como en el otro caso, el usuario de la cuenca superior garantiza al usuario de la cuenca inferior una porción de agua igual a $\tilde{X}_d = -\phi_u + E(W)$ y el usuario de la cuenca superior no necesariamente consume hasta su punto de saciedad pues el acuerdo formal restringe al usuario de la cuenca superior a compartir agua con el usuario de la cuenca inferior sin importar la valuación de la función de beneficio del usuario en la cuenca inferior. De manera similar, al establecer acuerdos informales el usuario de la cuenca superior garantiza al usuario de la cuenca inferior una porción de agua igual a $X_d^* = -\phi_u + W_t$ y el usuario de la cuenca superior no necesariamente consume hasta su punto de saciedad pues el acuerdo formal restringe al usuario

de la cuenca superior a compartir agua con el usuario de la cuenca inferior sin importar la valuación de la función de beneficio del usuario en la cuenca inferior. Si la condición d se mantiene, las ganancias son:

$$G(\cdot) = U_u[W - \frac{a_u}{2b_u} - W] + (0)U_d[\frac{a_u}{2b_u} + W] - U_u[W - \frac{a_u}{2b_u} - E(W)] - (0)U_d[\frac{a_u}{2b_u} + W] = \quad (20)$$
$$G(\cdot) = U_u[-\frac{a_u}{2b_u}] - U_u[W - \frac{a_u}{2b_u} - W] = U_u[-\frac{a_u}{2b_u}] - U_u[-\frac{a_u}{2b_u}] = 0$$

En resumen, la diferencia entre las condiciones c y d es que las ganancias de establecer acuerdos informales es positiva para todo $W_t \neq E(W)$ y cero cuando $W_t = E(W)$ respectivamente.

Condición e. Suponga flujo bajo donde $W_t \leq \phi_u$ para alguna $t$ y $W_t \neq E(W)$.

Esta condición es probablemente la más interesante pues es la que puede traer mas conflictos si no se considera en el desarrollo de los acuerdos tanto formales como informales.

Caso 1: Considere (16) arriba en donde el acuerdo formal es $\tilde{X}_d = -\phi_u + E(W)$. El acuerdo se mantiene cuando $E(W) > \phi_u$ pero no cuando $E(W) < \phi_u$ dado que acuerdos no positivos no son posibles, entonces el acuerdo formal cuando $E(W) < \phi_u$ es cero. Bajo estas condiciones el acuerdo formal para ser mantenido debe de ser $\max[0, \tilde{X}_d]$.

Caso 2**:** Ahora, suponga que $E(W) > \phi_u$ y $W_t < \tilde{X}_d$ Bajo estas condiciones, el acuerdo formal debe de ser $\tilde{X}_d = -\phi_u + E(W)$ pero como el flujo es menor que el acuerdo formal entonces el usuario de la cuenca superior tiene una restricción de asignar al usuario de la cuenca inferior $\tilde{X}_d$ un acuerdo sostenible requiere que el usuario de la cuenca superior entregue $W_t$ al usuario de la cuenca inferior.

Así, el acuerdo formal que cumple el criterio de los casos 1 y 2 cuando la condición e se mantiene es $\min[W, \max(0, \tilde{X}_d)]$.

Caso 3: Considere ahora que el acuerdo informal en (17) arriba es $X_d^*(W) = -\phi_u + W$. Si la condición c se mantiene, esto es $W_t \leq \phi_u$ el acuerdo informal no se mantendrá dado que no pueden haber acuerdos no positivos y por lo tanto el acuerdo informal cuando $W_t \leq \phi_u$ es cero.

Para incluir todos los niveles posibles de flujo en un acuerdo informal cuando $\theta = 1$ la regla debe de ser entonces $\max[0, X_d^*]$.

Para clarificar la diferencia de la política entre un acuerdo formal y uno informal, si la política del acuerdo informal fuera de la misma forma que la de el acuerdo formal, $\min[W_t, \max(0, X_d^*(W))]$ la decisión para cualquier nivel de flujo siempre será $\max[0, X_d^*]$. Por ejemplo, tome $W_t \leq \phi_u$, el acuerdo informal en el caso 3 será cero y entonces $\min[W, 0] = 0$. Si por el contrario $W_t > \phi_u$ y la condición a) se mantiene la política es $X_d^*(W) = -\phi_u + W$ lo cual es mayor a cero entonces la decisión es $\min[W_t, \max(0, X_d^*(W))] = \min[W_t, -\phi_u + W_t] = -\phi_u + W_t$ que es exactamente la misma que la política $\max[0, X_d^*]$.

Ahora, la pregunta es si las ganancias por establecer acuerdos informales se mantienen cuando se da la condición e. Recordando que la política del acuerdo formal es $\min[W_t, \max(0, \tilde{X}_d)]$ y la del acuerdo informal es $\max[0, X_d^*(W)]$.

Case 4: Sea $W_t \le \phi_u$ y $E(W) < W_t$ entonces $E(W) \le \phi_u$

El acuerdo formal es la decisión $\min[W_t, \max(0, \tilde{X}_d)]$ pero $\max(0, \tilde{X}_d) = 0$ entonces $\min[W_t, 0] = 0$ y el acuerdo informal es la decisión $\max[0, -\phi_u + W_t] = 0$. Por la proposición 1 y $\theta = 1$, substituimos estas políticas y obtenemos:

$$G(\cdot) = U_u[W - 0] + (0)U_d[0] - U_u[W - 0] - (0)U_d[0] = \\ G(\cdot) = U_u[W] - U_u[W] = 0 \qquad (21)$$

Caso 5: Sea $W_t \le \phi_u$ y $E(W) > W_t$

El acuerdo formal es similar al caso 2 donde la decisión es $\min[W_t, \max(0, \tilde{X}_d)]$ y $\max(0, \tilde{X}_d) = \max(0, -\phi_u + E(W))$ lo cual requiere de atención especial dependiendo del signo de $-\phi_u + E(W)$.

Caso 5.1: Si $\phi_u \ge E(W)$ entonces $\max[0, -\phi_u + E(W)] = 0$ y el formal acuerdo es entonces $\min[W_t, 0] = 0$ El acuerdo informal es la decisión $\max[0, -\phi_u + W_t] = 0$. Y similar al caso 4 el resultado es igual a (21) y por lo tanto las ganancias son iguales a cero.

Caso 5.2: Si $\phi_u < E(W)$ entonces $\max[0, -\phi_u + E(W)] = -\phi_u + E(W)$ y la decisión es $\min[W_t, -\phi_u + E(W)]$ aunque no sabemos el mínimo, por lo tanto:

Caso 5.2.1: Si $W_t > -\phi_u + E(W)$ entonces $\min[W_t, -\phi_u + E(W)] = -\phi_u + E(W)$.

Caso 5.2.2: Si $W_t \le -\phi_u + E(W)$ entonces $\min[W_t, -\phi_u + E(W)] = W_t$.

Estos casos se comparan con el acuerdo informal cuando la condición e se mantiene, pues $W_t \le \phi_u$, $\max[0, X_d^*(W)] = 0$. Las ganancias con el caso 5.2.1 utilizando la proposición 1 y $\theta = 1$ son $G(\cdot) = U_u[W] - U_u[W - \phi_u + E(W)] \ge 0$ ya que $W_t > -\phi_u + E(W)$ y las ganancias en

el caso 5.2.2 utilizando la proposición 1 y $\theta = 1$ es $G(\cdot) = U_u[W] - U_u[W-0] = 0$ ya que $W_t \leq -\phi_u + E(W)$ por lo que si la condición e se mantiene, las ganancias son siempre mayores que o iguales a cero.

Condición f: Suponga flujo bajo donde $W_t \leq \phi_u$ para alguna $t$ y $W_t = E(W)$.

Tome los resultados del acuerdo formal y del acuerdo informal estimados bajo la condición e y analice con $W_t \leq \phi_u$ y $W_t = E(W)$. Sea $W_t \leq \phi_u$ y $E(W) = W_t$ entonces $E(W) \leq \phi_u$. El acuerdo formal es la decisión $\min[W_t, \max(0, \tilde{X}_d)]$ pero como $\max(0, \tilde{X}_d) = 0$ dado que $E(W) \leq \phi_u$ entonces $\min[W_t, 0] = 0$ y como el acuerdo informal es la decisión $\max[0, -\phi_u + W_t] = 0$ entonces al comparar las ganancias obtenemos que estas son iguales a cero.

Condición f finaliza la prueba de el corolario 1.2 que demuestra que el acuerdo formal cuando $\theta = 1$ para cualquier nivel de flujo $W_t$ para toda $t$ es $\min[W, \max(0, \tilde{X}_d)]$ y el acuerdo informal es $\max[0, X_d^*(W)]$ y las ganancias por establecer acuerdos informales cuando $\theta = 1$ son iguales o mayores que cero.

*QED*

**REFERENCIAS**


[1] H.L. Beach, J. Hammer, J.J. Hewitt, E. Kaufman, A. Kurki, J.A. Oppenheimer, and A.T. Wolf, Transboundary Freshwater Dispute Resolution. Theory, Practice and Annotated References, The United Nations University, Shibuya-ku Tokyo, Japan, 2000.

[2] I. Parrachino, S. Zara, and F. Patrone, Cooperative Game Theory and its application to Natural, Environmental and Water Resource issues: 1. Basic Theory, World Bank Policy Research Working Paper 4074, World Bank, Washington D.C., 2006.
[3] L.G. Tesler, A Theory of Self-Enforcing Agreements. The Journal of Business 53 (1980) 27-44.
[4] S. Zara, A. Dinar, and F. Patrone, Cooperative Game Theory and its application to Natural, Environmental and Water Resource issues: 2. Application to Natural and Environmental Resources, World Bank Policy Research Working Paper 4073, World Bank, Washington D.C., 2006.
[5] A. Dinar, A. Ratner, and D. Yaron, Evaluating Cooperative Game Theory in Water Resources. Theory and Decision 31 (1992) 1-20.
[6] I. Fischhendler, and E. Feitelson, Spatial Adjustment As a Mechanism for Resolving River Basin Conflicts: U.S.-Mexico case. Political Geography 25 (2003) 547-573.
[7] I. Fischhendler, E. Feitelson, and D. Eaton, The Short and Long Term Ramifications of Linkages Involving Natural Resources: The U.S.-Mexico Transboundary Water Case. Environment and Planning C 22 (2004) 633-650.
[8] L.L. Bennett, C.W. Howe, and J. Shope, The Interstate River Compact as a Water Allocation Mechanism: Efficiency Aspects. American Journal of Agricultural Economics 82 (2000) 1006-1015.
[9] S. Barrett, Conflict and Cooperation in Managing International Water Resources, The World Bank, Washington D.C., 1994.
[10] S. Barrett, Environment & Statecraft: The Strategy of Environmental Treaty-Making, Oxford University Press, New York, 2003.
[11] A. Dinar, Exploring Transboundary Water Conflict and Cooperation. Water Resources Research 40 (2004).
[12] A.T. Wolf, K. Stahl, and M.F. Macomber, Conflict and cooperation within international river basins: The importance of institutional capacity. Water Resources Update 125 (2003).
[13] A.T. Wolf, S.B. Yoffe, and M. Giordano, International Waters: identifying basins at risk. Water Policy 5 (2003) 29-60.
[14] J. Blatter, Beyond Hierarchies and Networks: Institutional Logics and Change in Transboundary Spaces. Governance: An International Journal of Policy, Administration, and Institutions 16 (2003) 503-526.
[15] A. Dinar, and S. Dinar, The State of the Natural Resources Literature. Natural Resources Journal 43 (2003) 1217-1287.
[16] S.B. Yoffe, and G. Fiske, Use of GIS for Analysis of Indicators of Conflict and Cooperation over International Freshwater Resources., Draft. Submitted for publication to Water Policy, World Water Council, 2002.
[17] C. Jonsson, and J. Tallberg, Compliance and Post Agreement Bargaining. European Journal of International Relations 4 (1998) 371-408.
[18] M. Rosegrant, X. Cai, and S. Cline, World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity, International Food Policy Research Institute and International Water Management Institute, Washington, D.C. and Colombo, Sri Lanka, 2002.

Figura 1.

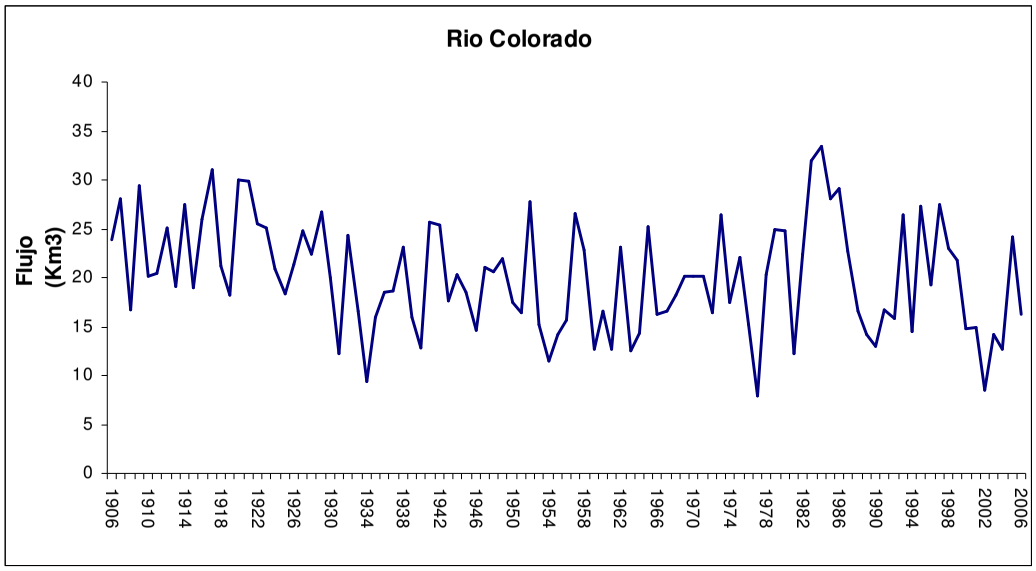



Figura 2.

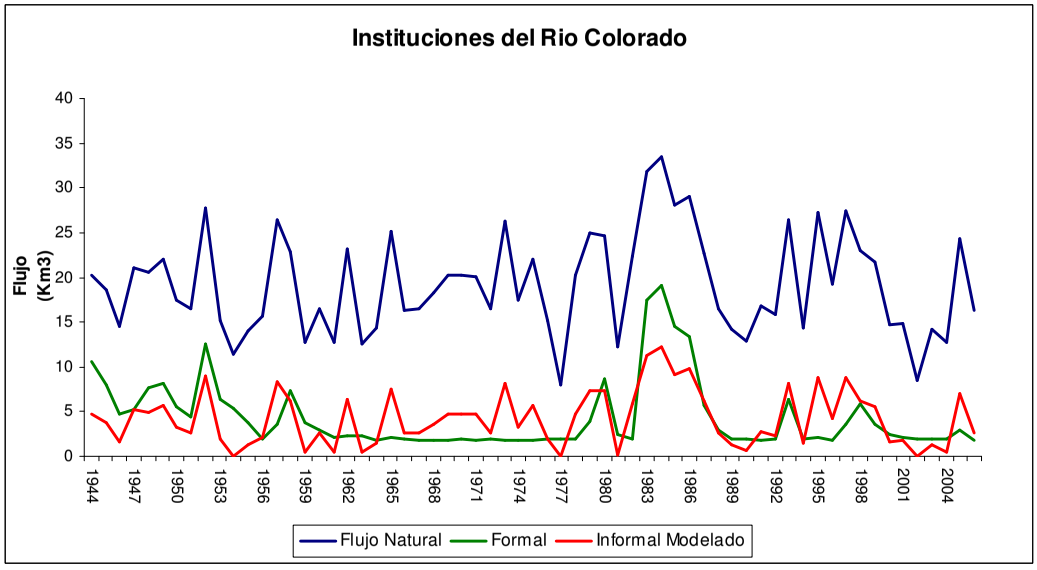
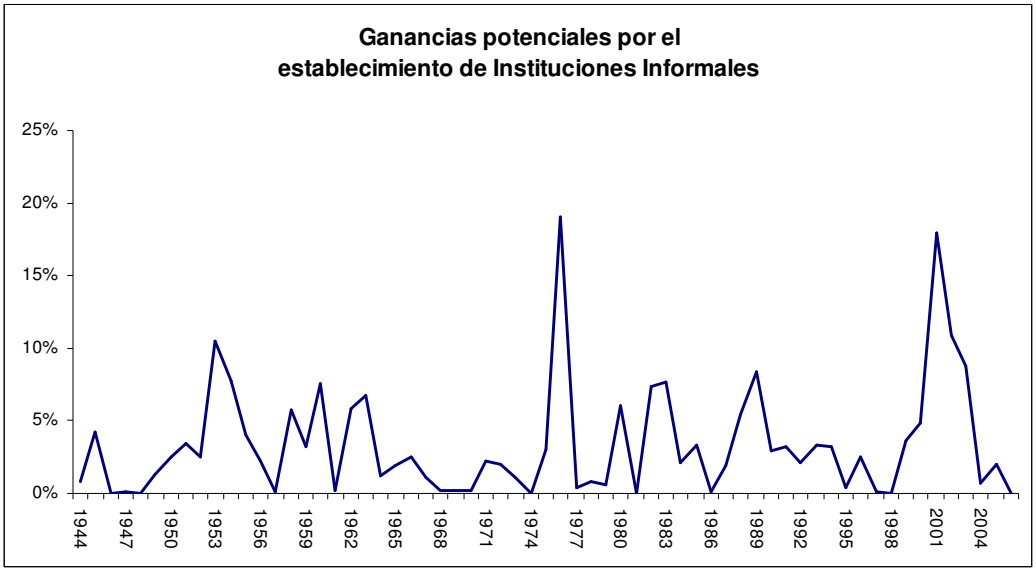


Figura 3.




| Estado Unidos | | México | |
|---|---|---|---|
| Intercepto | Pendiente | Intercepto | Pendiente |
| 3.23 | 0.04 | 2.41 | 0.03 |

Tabla 1: Funciones de beneficio. Elaboración propia con datos públicos [18]