

VALORACION ECONOMICA DEL AGUA

José A. Pérez Roas

**Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial,
CIDIAT. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
Teléfono: 0274 – 2449511, Fax: 2441461. prjose@cidiat.ing.ula.ve**

RESUMEN

La futura conferencia de Río + 10, la Agenda 21 y los principios de Dublin, a nivel internacional, y la Constitución Bolivariana de Venezuela y la futura Ley de Agua del país, a nivel nacional, reconocen al agua como un bien económico. Dicha afirmación, aunque aceptada no es totalmente comprendida. Un medio de entenderlo es haciéndose la pregunta ¿Porqué deben hacerse estimados de los beneficios económicos o del valor económico del agua?.

La respuesta se relaciona directamente con el factor “toma de decisiones”. Estas pueden ser para inversiones, alternativas no estructurales o políticas relativas al recurso hídrico. Tomar decisiones implica evaluación y realizar la misma significa la aplicación de técnicas de valoración. En este sentido, la ponencia a presentar busca abordar distintos aspectos de la valoración económica del agua, resumiéndose a continuación los tópicos a tratar.

El valor y costo del agua. El agua en sus condiciones naturales tiene un valor económico. El mismo se expresa como Valor Económico Total, derivado de su valor de uso directo (riego, industria, recreación, etc.), valor de uso indirecto (hábitat, depurador de contaminantes, etc.), valor de no uso de existencia y legado (bellezas escénicas, sitios culturales, sitios históricos) y valor de opción (hábitat de biodiversidad, potencial uso y no uso). El costo del agua se compone de los costos de capital, operación, mantenimiento, confiabilidad del abastecimiento, costo de oportunidad y los costos de las externalidades impuestas a la sociedad por su aprovechamiento. Un uso sustentable del agua debe buscar equiparar el costo total con el valor total. En tal sentido, estimar el costo de agua puede servir como una aproximación, lo más seguro de orden inferior del valor del agua.

Lo anterior puede resultar incomprensible si no se relaciona con aspectos como el papel del agua como bien intermedio (agua de riego), como bien privado (uso doméstico) y bien público (recreación, calidad, papel en las inundaciones, hábitat, belleza escénica, entre otros). Entender el papel del agua para la sociedad, y por ende su valor económico, ayuda a descifrar la importancia de su valoración.

El valor del agua y la eficiencia económica Tomar decisiones respecto al recurso hídrico debe signarse bajo el precepto de eficiencia económica. El mismo indica que el beneficio marginal debe equipararse con el costo marginal de aprovechamiento del recurso. Esto proporciona la asignación óptima. Sin embargo, estudiar los beneficios y costos, aunque no conducen a una solución óptima, si puede llevar a un cambio deseable y se puede suponer que va hacia la solución óptima. En la ponencia se tratan elementos teóricos de ambos paradigmas (eficiencia

económica y análisis beneficio-costo). Asimismo, se discute la importancia de la valoración en la conservación del recurso y se hace una exposición teórica del excedente del consumidor como criterio de valor del agua.

Conocida las implicaciones teóricas de la importancia de la valoración económica del recurso hídrico, conduce a la ponencia al núcleo de la misma: **Los métodos para medir el valor del agua**. En tal sentido, se dan respuestas a tres preguntas fundamentales: ¿Para que va a ser usado el valor? ¿cuáles valores son importantes medir? y ¿cuáles métodos son más apropiados para la valoración? En ese contexto, se describen tres pasos básicos: definición de la audiencia, el alcance del estudio y la selección de la técnica de valoración apropiada. Cumplido lo anterior, se hace una descripción somera de las técnicas cuando existen transacciones con agua u otro bien relacionado, incluyendo derivación de valores a partir de rentas y ventas de derechos de agua, derivación a partir de una serie de características del valor de una propiedad y a partir de funciones de demanda derivadas de ventas de agua. Asimismo, se describen las técnicas de valoración del recurso como bien intermedio, destacándose el método residual dividido en derivación del valor residual y cambio en el ingreso neto; y el método del costo alternativo. Se agregan las técnicas de valoración del agua como un bien de consumo, tanto privado como público. En este aparte se describe el método de costo de viaje, el de los precios hedónicos, el de valoración contingente y los métodos para calcular valores generalizados como el de transferencia de beneficios.

La ponencia finaliza con **ejemplos de aplicación** de algunos de los métodos arriba mencionados. Se hace una aplicación para la valoración del agua como bien intermedio a partir de: costo de obtención a partir de inversiones públicas, valoración del agua de riego basado en la función de producción y de la productividad media, valoración de la calidad del agua de riego usando una función de producción y la productividad media; se expone teóricamente el costo alternativo, la valoración del agua para uso industrial e hidroeléctrico. Asimismo, se hace un ejemplo de valoración del agua como un bien de consumo privado usando análisis econométrico; finalizándose, con la valoración del agua como un bien de consumo público, presentando un ejemplo en recreación, de cálculo de beneficios de reducción de riesgos de enfermedades transmitidas por agua, de valor de los beneficios de la reducción de los riesgos de inundación y de la prevención de las mismas.

VALORACIÓN ECONOMICA DEL AGUA

José A. Pérez Roas

**Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial,
CIDIAT. Universidad de los Andes,
Mérida, Venezuela. Teléfono: 0274 – 2449511, Fax: 2441461
prjose@cidiat.ing.ula.ve**

1. INTRODUCCION

La futura conferencia de Río + 10, la Agenda 21 y los Principios de Dublín manifiestan el concepto del agua como bien económico y social. Asimismo, la Constitución Bolivariana de Venezuela reconoce al agua como un bien económico. Sin embargo, tal afirmación aunque aceptada, no es totalmente comprendida. Posiblemente el precepto se entienda si se hace la pregunta ¿por qué se deben hacer estimados de los beneficios económicos o del valor económico del agua?.

Tales afirmaciones giran alrededor del factor “toma de decisión” que debe hacer la sociedad relativa a inversiones asociada al recurso agua.

Las inversiones, entre otras, se realizan en riego, hidroelectricidad, abastecimiento de agua urbano y rural, control de inundaciones y saneamiento. Valorar económicamente el agua en dichas inversiones permite observar la contribución económica de la misma, permitiendo determinar si la gente acepta tales inversiones y si está dispuesta a pagar por los beneficios obtenidos.

Otro tipo de “toma de decisión”, donde ayuda valorar económicamente el agua es en la evaluación de alternativas no estructurales o de políticas. Aquí se pudieran contestar preguntas como ¿cuánta agua debe ser destinada para riego versus la cantidad destinada a abastecimiento doméstico e industrial? Pregunta muy pertinente para el proyecto Yacambú-Quíbor.

En el mismo contexto, se pudiera preguntar ¿cuánta agua debe ser extraída para riego de una fuente hídrica versus la que se debe quedar en la fuente para la preservación de los peces o de la vida salvaje presente en la fuente? ¿cuánta agua debe ser extraída hoy de un acuífero versus la que debe ser salvada para necesidades futuras? ¿cuánta agua superficial extraer versus cuanta agua subterránea para reunir necesidades actuales del líquido? (Pregunta pertinente para cuando el Sistema de Riego de Quíbor irrigado con aguas de Yacambú, entre en operación). Esas y muchas otras preguntas pudieran ser contestadas, para hacer una decisión adecuada, si se conoce el valor económico del agua.

Partiendo de la premisa de que tomar decisiones implica evaluación, el presente trabajo mostrará una serie de técnicas para estimar el valor económico del agua. El mismo se inicia discutiendo en

forma resumida los paradigmas valor y costo del agua; seguidamente, se reseña el equilibrio que debe existir entre ambos paradigmas para obtener el punto de eficiencia económica; a continuación, se nombrarán, con una breve discusión, los métodos de cuantificación monetaria del valor del agua como bien intermedio, de consumo privado y como proveedor de beneficios públicos, finalizando con algunos ejemplos de aplicación.

2. EL VALOR Y COSTO DEL AGUA

El agua en sus condiciones naturales tiene un valor económico. Dicho valor se compone de valores de uso directo e indirecto, valor de opción y valor intrínseco (valor de existencia y de legado). El valor de uso directo puede ser consultivo o no. Los valores de uso consultivo corresponden al valor para los usuarios de riego, domésticos, industriales y cualquier otra actividad que consuma agua. Los valores de uso no consultivo corresponden al valor para los usuarios de generación hidroeléctrica, navegación, recreación y cualquier uso directo de las aguas con la condición de que no se consuma. El valor de uso indirecto corresponde al valor que la sociedad le da al recurso por la función que éste cumple. Son ejemplos de éste, el valor que tiene el agua como hábitat de especies vivas, el valor del recurso por su capacidad de depuración o solvente de sustancias que entran en contacto con ella, el valor del agua por su papel en el ciclo de nutrientes necesarios para la vida, entre otros. El valor de opción del agua corresponde al valor que le da la sociedad al recurso por la opción de poder hacer uso o no del mismo en el futuro. En esta categoría entran entre otros los sitios de agua con potencial hidroeléctrico, los sitios de agua con potencial turístico, los sitios de agua con posibilidad de almacenamiento con fines de riego, domésticos, industriales, control de inundación, etc. Pertenecen a esta categoría también aquellos sitios con potencial cultural, histórico, belleza escénica, entre otros. El valor intrínseco del agua corresponden al valor que se le da al recurso por el solo hecho de existir en determinados sitios y por la oportunidad de dejarlo como herencia a las generaciones futuras. En esta categoría se ubica a las bellezas escénicas, sitios culturales e históricos.

El cálculo del valor del agua es sitio específico y puede ser determinado por la suma de los valores arriba mencionados o permitiendo que el cálculo del valor o valores más relevantes en un sitio representen el valor del agua.

El agua tiene un costo. El costo del agua se compone de los costos de capital, costos de operación, mantenimiento y administración, costos de confiabilidad del abastecimiento en calidad y cantidad, costo de oportunidad y los costos de las externalidades impuestas a la sociedad. Los costos de capital corresponden a los costos de las inversiones, reposiciones y rehabilitaciones para aprovechar el recurso. Los costos de operación, mantenimiento y administración son aquellos relativos a operar, mantener y administrar las obras de aprovechamiento realizadas con los costos de capital. El costo de confiabilidad de abastecimiento en calidad y cantidad corresponden a los costos que garanticen una adecuada gestión de la cuenca aguas arriba o provincia hidrogeológica de la cual se abastece el sitio de aprovechamiento haciendo confiable el mismo. El costo de oportunidad, el cual está presente en las zonas y períodos donde existe escasez del agua, se refiere al costo de usar el agua en su mejor uso alternativo o expresado de otra manera, al costo de privar a otro usuario potencial del recurso debido al uso que va a realizar el que aprovecha al agua. Los costos de las externalidades se refiere al costo que le impone a la sociedad el usuario del agua. Este será un costo si la externalidad es negativa como es el caso de usar el agua y devolverla al ambiente en una cantidad y/o calidad menor a la que originalmente

tenía. Generalmente se imponen las externalidades a los usuarios río abajo y a los usuarios de fuentes de agua comunes como acuíferos, lagos y lagunas. Pueden haber externalidades positivas, no siendo un costo si no un beneficio, cuando el usuario del agua contribuye al bienestar de la sociedad mediante el uso del recurso. Un ejemplo, es la recarga de acuífero debido a las actividades de riego.

Para un uso sustentable del agua se deberá equiparar el costo total y el valor total del agua. Si esto es así, el costo total del agua puede representar una aproximación, lo más seguro que por debajo, del valor total del agua.

A manera de ilustración, se presenta la Tabla 1, la cual contiene una relación entre el valor del agua y el agua como bien intermedio, de consumo privado y proveedora de beneficios públicos. La misma sirve de introducción la inquietud que tienen muchos de que los valores del agua no tienen un mercado. Por lo tanto para cuantificarlos, se necesitará de métodos que se asemejan y relacionan con el mercado.

Tabla 1. Relación del valor del agua y la misma como bien intermedio, de consumo privado y proveedora de servicios públicos.

Valor	Uso y no uso del agua		
	Agua como bien Intermedio.	Agua de consumo privado.	Agua como proveedor de beneficios públicos.
Uso directo	Riego Industrial Hidroeléctricidad	Consumo urbano Consumo industrial	Recreación Turismo y amenidades.
Uso indirecto		Receptor de desechos urbanos e industriales.	Hábitat para peces Hábitat para especies salvajes, endémicas y en peligro de extinción.
Opción	Uso futuro para riego, industria, hidroeléctricidad.	Uso futuro para consumo privado.	Hábitat para conservación de biodiversidad.
Intrínseco (legado y existencia).	-	-	Sitio culturales Sitios históricos

3. EL VALOR DEL AGUA Y LA EFICIENCIA ECONÓMICA

3.1. Criterio de Pareto y el análisis beneficio costo

La eficiencia económica se basa en el “principio de optimización de Pareto” el cual ocurre cuando el beneficio marginal de usar un bien o servicio es igual al costo marginal de proveerlo. Esto permite una asignación de recursos tales que no haya posibilidad de una nueva reasignación, sin la posibilidad de que exista ganancias o pérdidas para los consumidores o productores.

Estudiar el paradigma de eficiencia económica en el marco de los recursos hídricos tiene dos razones fundamentales:

- La eficiencia económica es un objetivo social muy importante. Los valores conocidos como eficientes sirven para resolver conflictos, sobretodo bajo condiciones de escasez progresiva y creciente competencia entre los usuarios de agua.
- Los valores eficientes reflejan los costos de oportunidad cuando se evalúan alternativas de un mismo objetivo.

Alcanzar la eficiencia económica en la asignación de los recursos hídricos no es una tarea sencilla. Por tal razón, el uso de análisis de beneficio costo y sus resultados se toman como una vía para analizar si una determinada decisión se dirige y mueve hacia la eficiencia de Pareto.

La Figura 1⁽¹⁾ muestra una comparación entre los criterios de Eficiencia de Pareto y el de Beneficio-Costo. La curva señalada como B (W) representa los beneficios agregados (excedente del consumidor o productor) de niveles distintos de servicios de agua. La curva C (W) muestran los costos agregados para proveer tales servicios. Las dos curvas representan una medición del bienestar social o de utilidad agregada y costo. Las formas de las curvas muestran el supuesto convencional de que los beneficios se incrementan a una tasa decreciente a medida que se emplean más cantidades del recurso, mientras que la tasa de los costos cada vez más va creciendo. La solución eficiente de Pareto, punto de eficiencia económica está en el nivel de agua W^* que representa la máxima distancia vertical entre B (W) y C (W). En este punto el beneficio marginal es igual al costo marginal.

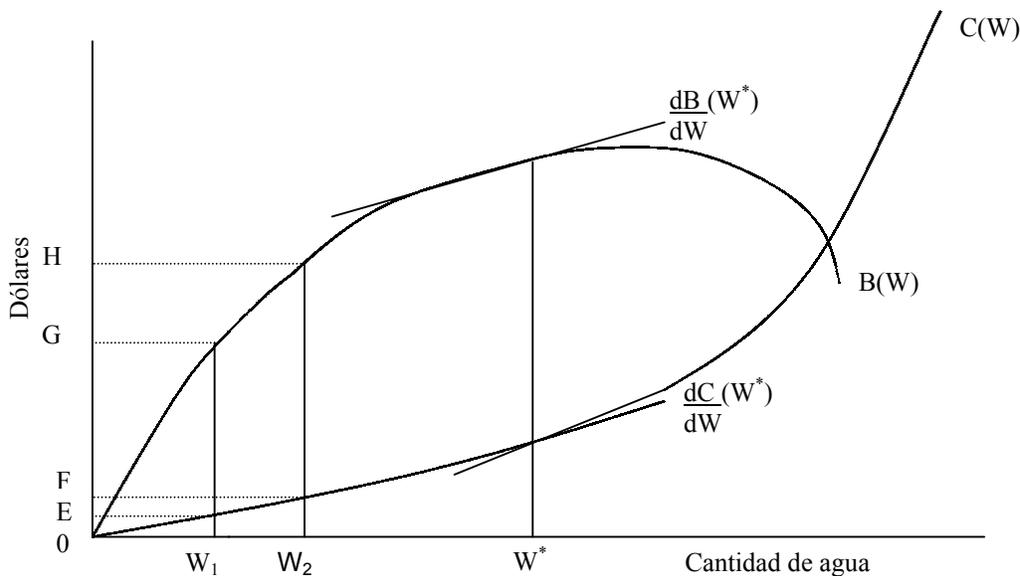


Fig. 1 Comparación del criterio de eficiencia de Pareto y el de Beneficio Costo¹

En contraste, el criterio de Beneficio Costo, en vez de buscar una solución óptima, analiza si un cambio de una condición dada puede representar un cambio deseable. En la Figura 1 esto se puede estudiar al mover el nivel de agua de W_1 a W_2 . El criterio de BC compara el incremento agregado en beneficio (GH en la Figura 1) contra el incremento agregado en los costos (EF en la Figura 1). Si el beneficio incremental es superior al costo incremental, como se observa en la figura, el cambio es deseable y se considera que hay un mejoramiento de Pareto. Esto conduciría

a concluir que si existe un mejoramiento de Pareto debido a un proyecto, programa, plan o política, la misma es preferible a la situación existente.

3.2. Valor y precio del agua y la conservación del recurso

Los preceptos de eficiencia económica pueden usarse para analizar el efecto que tienen los precios del agua sobre la conservación del recurso. Para tal fin, se puede observar la Figura 2⁽²⁾ en la cual BPMN corresponden a los beneficios privados marginales netos, es decir derivados de sustraerle a los beneficios privados marginales brutos los costos privados marginales, CPM. Estos últimos son los correspondientes a los costos marginales que incurre el privado. A medida que quiera sustraer más cantidad de agua, expresada como Q , estos costos tienen una tasa de incremento creciente.

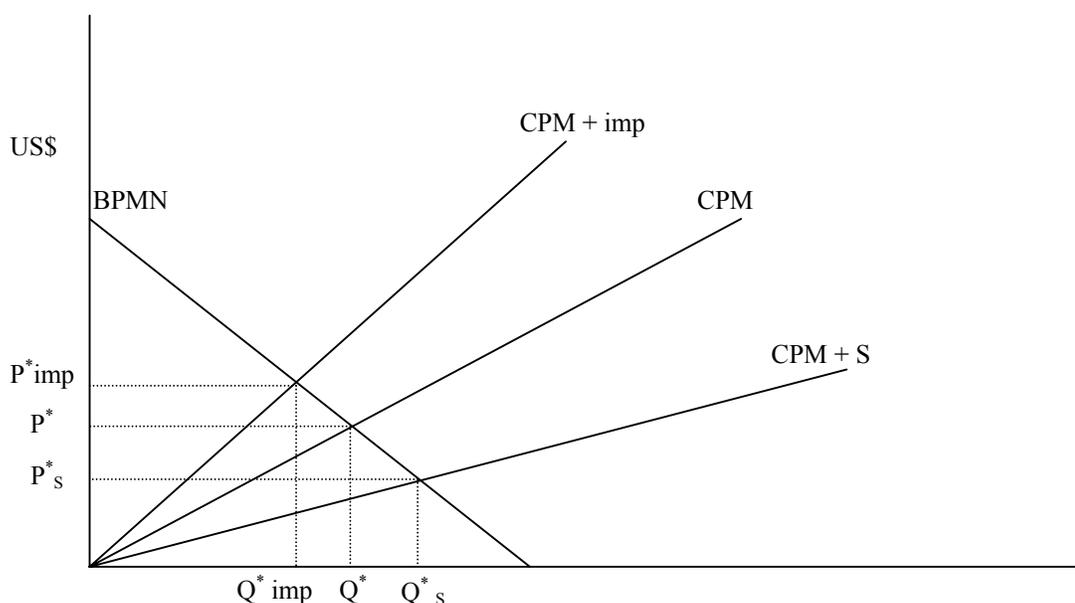


Fig. 2 Valor y precio del agua y la conservación del recurso²

Los BPMN tienen una tasa decreciente, pues la disposición a pagar por cada unidad adicional de agua es cada vez menor, ya que como se recordará los beneficios tienen una tasa decreciente a medida que se va utilizando agua.

En el punto donde el BPMN sea igual al CPM se consigue el punto eficiente económico para el privado y Q^* representa la cantidad eficiente de agua a sustraer y p^* el precio eficiente. Este p^* representa el precio económico para el privado y por lo tanto podría tomarse como una indicación de valor económico de la misma.

¿Qué pasa cuando interviene el gobierno y subsidia los costos privados marginales?

Para este planteamiento, se deriva una nueva curva de costos privados marginales, existirá un nuevo punto de eficiencia, originándose Q^*_s , una nueva cantidad “eficiente” de agua a extraer y

p^*s , un nuevo precio “eficiente” que incluye el subsidio. Como se observa en la figura, para dicha política se extraerá más agua.

¿Qué pasa cuando el gobierno obliga al privado a internalizar los costos ambientales que ocasiona por sustraer dicha agua, sea el caso de que le aplica un impuesto, o canon de agua?.

Para este planteamiento, los CPM se elevan, la nueva cantidad “eficientes” es $Q^* imp$ y el nuevo precio “eficiente”, $p^* imp$. Este precio se eleva por que el privado internaliza el costo ambiental de sustraer el agua. Para este caso, $Q^* imp$ será menor que Q^* , extrayéndose menor cantidad del recurso, originándose su conservación.

El $p^* imp$ pudiera tomarse como una referencia del valor económico del agua

3.3. Excedente del consumidor y medidas de beneficios

El concepto de valor económico de un recurso lo basan los economistas en un mecanismo de decisión, en el cual los individuos racionales realizan el mejor uso y oportunidades que ofrece el recurso. El mecanismo está bajo el supuesto de que los individuos, miembros de la economía, reaccionan sistemáticamente a los cambios que perciben en sus situaciones. Estos cambios pueden ser en la cantidad y calidad del recurso agua, en los precios, costos, limitaciones institucionales e incentivos, ingresos, riqueza, etc.

La Figura 3⁽¹⁾ muestra los conceptos de excedente del consumidor o productor bajo una óptica de mercado. MB_w es la curva de demanda, que refleja la máxima cantidad de agua que los consumidores estarían de acuerdo extraer a distintos niveles de precios alternativos. La pendiente es negativa indicando que los consumidores extraerán más agua a medida de que el precio sea más bajo. Es una curva marginal. El excedente del consumidor se define como el área arriba el precio, representando la diferencia entre lo máximo que los usuarios estarían de acuerdo a pagar y lo que actualmente pagarían para un precio por unidad constante. Las curvas de oferta, S_1 y S_2 , representan un cambio no marginal en las funciones de oferta, tal como el efecto de un proyecto que incrementa la oferta de agua de riego.

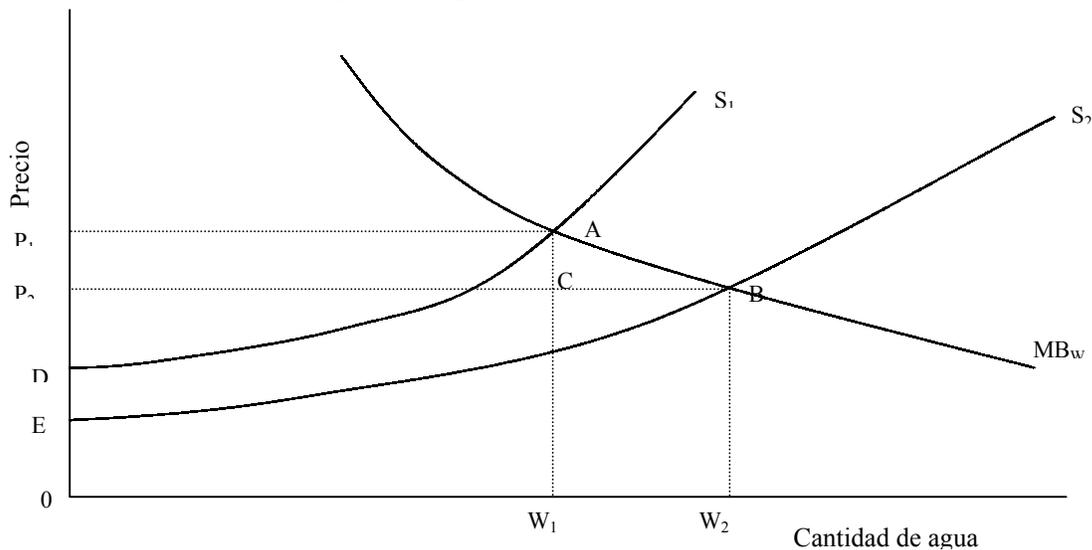


Fig. 3 Excedente del consumidor (o productor) bajo una óptica de mercado. ⁽¹⁾

Para el caso arriba mencionado, los consumidores disfrutan de dos formas de ganancia: una reducción del precio, p_1 a p_2 , y un incremento en la cantidad de agua de W_1 a W_2 . Los productores del recurso también ganan por el incremento, pero su precio declina. El excedente del consumidor para este caso lo representa el área $p_1 A B p_2$. El excedente del productor cambia desde $p_1 A D$ a $p_2 B E$. El incremento neto de la economía es $DABE$, reflejando el valor total ganado debido al incremento del agua.

Un caso frecuente aplicado a evaluaciones de no mercado, usado en los recursos de agua, se muestra en la Figura 4⁽⁴⁾. La misma presenta un incremento en la disponibilidad del recurso, sin tomar en cuenta el precio, desde W_1 a W_2 . Las curvas inelásticas de oferta, S_1 y S_2 , cambian desde W_1 a W_2 . La curva MB_w es la curva de demanda. El área bajo la curva MB_w entre W_1 y W_2 representa la ganancia económica debido al incremento del agua, siendo $W_1 A B W_2$. La misma es la que es necesario medir en el análisis económico, en una situación de no mercado, de cambios en calidad o cantidad de agua y amenidades ambientales.

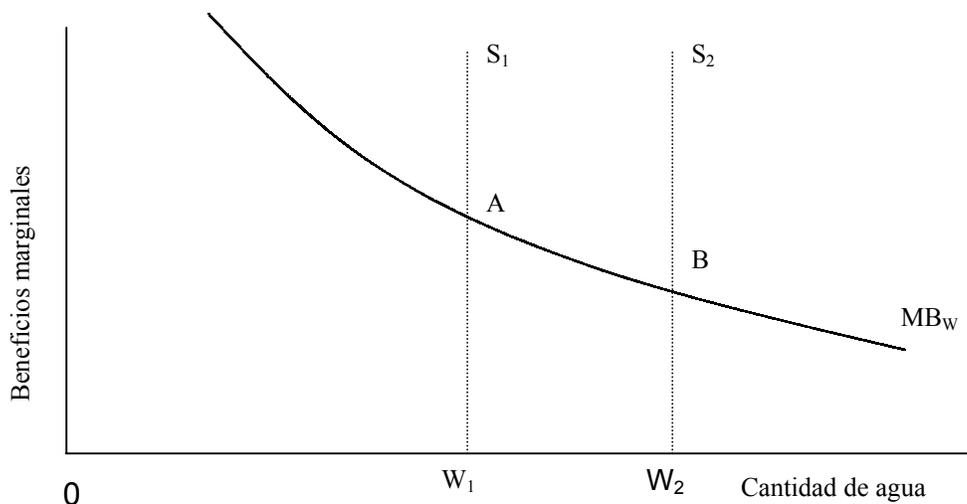


Fig. 4 Cambio en el excedente económico derivado de un cambio no marginal del abastecimiento de agua. ⁽¹⁾

4. MÉTODOS PARA MEDIR EL VALOR DEL AGUA

4.1. Generalidades

Identificar los valores que la gente le asigna al agua puede ser un adecuado ejercicio intelectual, que si no está bien estructurado, será solo eso, un ejercicio.

Estructurar bien la cuantificación le da propósito y dirección al estudio de valoración, ahorrando tiempo y dinero. Las preguntas inmediatas a contestar son:

- ¿Para que va a ser usado el valor?
- ¿Cuáles valores son importantes medir?
- ¿Cuáles métodos son más apropiados para la valoración?

Para dar respuesta, se deben seguir tres pasos básicos:

- Definir la audiencia
- Determinar los alcances del estudio
- Seleccionar la técnica de valoración apropiada

4.1.1. Definir la audiencia

Es de vital importancia definir cual es el uso final del estudio y quien lo usará. Generalmente, el uso final es para tomar decisiones acerca de:

- Inversiones de obras para captación, transporte y distribución del agua para distintos usos.
- Inversiones de incremento de la disponibilidad y/o calidad del recurso.
- Evaluación de políticas relativas al sector agua
- Establecimiento de canon y tarifas de agua
- Asignación y reorganización del recurso

Esas decisiones la toman gerentes de manejo del recurso, miembros de la comunidad, funcionarios públicos y no públicos, agencias de financiamiento, comunidad internacional y muchos otros. No debe olvidarse que lo que es un beneficio para un grupo de personas puede ser un costo para otros. En tal sentido, debe identificarse con antelación al estudio de valoración, si el grupo va a ser el de consumidores, productores, ninguno de los anteriores, entre otros.

4.1.2. Determinar el alcance del estudio

Después de tener claro el uso final del estudio y quien lo usará, se debe determinar el alcance del mismo. Este debe estar definido en escala espacial, temporal y de tópicos.

Desde el punto de vista espacial, debe delimitarse en forma precisa el área geográfica que ocupará el estudio. Por ejemplo, si se valora el agua en un curso superficial, debe acotarse que área es de interés para el estudio. Temporalmente, debe indicarse el tiempo previsto para la realización del estudio. El tiempo depende de los tipos de beneficios y costos que se quieren valorar, la relevancia y confiabilidad de los datos existentes, el nivel de medición requerido, la cantidad de exactitud deseada, la capacidad para realizar el estudio, entre otros aspectos. La audiencia que solicita el estudio debe estar consciente de su demanda, por lo que solicitar por ejemplo un estudio que necesite aplicar valoración contingente para un período de cuatro semanas es irreal.

Los tópicos que abarca el estudio deben ser identificados en forma exacta, de forma de precisar cuales valores del agua son relevantes y deben (y pueden) ser medidos. Asimismo, a partir de ahí debe precisarse cuales valores son significantes para la decisión final. Por ejemplo, un agua en un curso superficial tiene valor por su uso como recreación, potencial para agua de riego, hábitat de peces, solvente de desechos domésticos, entre otros. Si la misma se quiere valorar como bien intermedio de producción de alimentos bajo riego, el valor a determinar debe ser éste primordialmente.

Un aspecto a considerar es la capacidad para medir el valor y los costos que acarrea tal medición. El tiempo y presupuesto disponible son restricciones a tomar en cuenta, ya que limitan los tipos de valores que pueden ser medidos.

4.1.3. Selección de la técnica de valoración apropiada

Habiendo definido claramente los aspectos anteriores, se debe seleccionar la técnica de valoración a usar. En tal sentido, debe primeramente definirse que los precios a usar son económicos o precios sombra. Datos del mercado pueden usarse directamente como precios, si tales mercados son competitivos (numerosos compradores y vendedores, (sin monopolio y costos externos). Cuando no son competitivos, los precios deben ser ajustados para eliminarle distorsiones como subsidios, pago de intereses, impuestos, entre otros. Cuando no hay mercados (curso del agua para producir energía, preservación ambiental, recreación, daños debido a la mala calidad del recurso, etc.) se usaran los precios sombras. Los precios son expresiones de la Disposición a Pagar, DAP. Esta se refleja en la curva de demanda que expresa la DAP de un consumidor o productor como una función de la cantidad del bien o servicio.

La técnica a seleccionar dependerá de quien recibe los beneficios, consumidores o productores. A continuación, se describirán las técnicas más comunes que sirven para valorar económicamente el agua.

4.2. Técnicas de valoración

4.2.1. Cuando existen transacciones con agua u otro bien relacionado

4.2.1.1. Valores por rentas y ventas de derechos de agua

Para mercados competitivos de agua, el precio de venta o de renta de un derecho de agua puede usarse como el valor de la misma. Para ser competitivo, un mercado debe reunir las siguientes condiciones:

- Tener muchos compradores y vendedores, que tengan información de las reglas de ese mercado y con costos de transacción similares.
- Las decisiones que haga cada vendedor o comprador son independientes de las decisiones que hacen otros vendedores o compradores.
- La decisión que tome algunos de los miembros del mercado no debe afectar los productos obtenidos por otro individuo.
- Los agentes (usuarios) del mercado tienen motivación para maximizar sus ganancias

Bajo estas condiciones, las fuerzas de demanda y oferta determinan la cantidad a ser comercializada y el precio unitario para el bien en ese mercado.

El Estado debe intervenir para definir los derechos originales de agua, crear los mecanismos institucionales y legales para las transacciones e invertir en la infraestructura básica que facilite las transacciones del agua.

Mercados de agua se presentan progresivamente en el oeste de los Estados Unidos, donde las demandas urbanas de agua se están supliendo con aguas de la agricultura. En Chile también existe este tipo de mecanismo.

La Figura 5⁽²⁾ muestra la teoría económica de estos mercados. En la misma D representa los deseos de los compradores del recurso y O los deseos de los vendedores del recurso. Ambos quieren maximizar sus ganancias. A precios altos, los compradores demandan poca cantidad; a precios bajos demandan más cantidad. Los vendedores actúan al contrario. Ofrecen más cantidad a precios altos y pocas a precios bajos. A la curva D la influncian el ingreso, gustos, cantidad de consumidores potenciales, fuentes substitutas, etc. A la curva O, la influencia los precios de uso alternativos del agua, tecnología, etc. En el punto de intersección, compradores y vendedores maximizan sus ganancias al mismo tiempo. La cantidad vendida es Q^* y p^* es el precio del agua, el cual puede representar el valor económico de la misma.

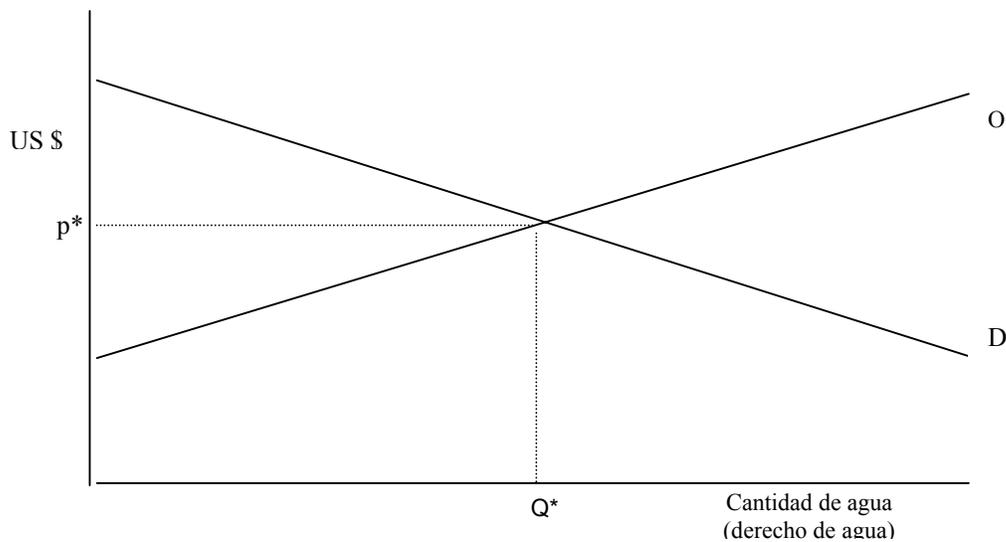


Figura 5. Modelo sencillo de un mercado de agua²

Un vendedor particular no podría vender por encima de p^* , pues la demanda bajaría, habría excedencia del recurso y la competencia para poder vender más, bajaría el precio. Lo contrario ocurre si se quiere vender por debajo de p^* , ya que produciría déficit.

Puede existir renta de los derechos de agua. Estos sirven para intercambiar derechos por un período limitado, por ejemplo un ciclo de riego, una temporada de cultivo. El precio obtenido puede interpretarse de corto plazo. Muchas veces este precio reflejado sólo el cubrimiento de los costos de operación y mantenimiento. En otros casos, en caso de sequía, puede reflejarse además de lo anterior, el problema de escasez.

Derechos de agua perpetuos pueden reflejar precios para el largo plazo. Este incluye los costos de capital. Como el valor que se necesita es generalmente anual, los costos de capital deben transformarse en costo anual equivalente, CAE, usando un período de planificación adecuado y una tasa de interés apropiada.

Muchos analistas usan una tasa de interés constante y un período de planificación muy largo. Para estas condiciones se puede usar la siguiente ecuación:

$$V = \frac{CAE}{r} \quad [1]$$

V = valor presente observado en el mercado de un derecho de agua

r = tasa de interés real (no influenciada ni por inflación ni riesgo)

CAE = valor anual a ser usado constante para un período de tiempo largo

4.2.1.2. Valor de agua como parte de una serie de características del valor de una propiedad. Los Precios Hedónicos.

Muchas veces, las transacciones del valor de las propiedades incluyen derechos o accesos a abastecimiento de agua o de determinada calidad, como parte de una serie de características que tiene la misma. El método se basa en el supuesto de que el precio de algún bien mercadeable es una función de sus diferentes características, existiendo un precio implícito para cada una de ellas. A partir de una muestra de bienes mercadeables similares, se encuentra que tiene un precio que refleja el valor de los distintos atributos que tiene el bien. La contribución de las distintas características al precio del bien, se puede derivar en forma estadística. Por ejemplo, el precio de una vivienda (o tierra) puede estar en función de varias características, siendo una de ellas el abastecimiento de agua o la calidad de ésta.

La función puede ser:

$$p_i = g(S_i, N_i, Q_i) + \varepsilon_i \quad [2]$$

p_i = precio de venta o renta del i th bien de mercado (una casa, por ejemplo)

S_i = vector de las características estructurales (tamaño, edad, número de cuartos, tamaño del garaje, etc) del i th bien mercadeable.

N_i = vector de las características del vecindario (tasa de crímenes, accesibilidad al sitio de trabajo, distancia a tiendas, distancia a escuelas, etc.) del i th bien mercadeable.

Q_i = representa el atributo agua de interés, del i th mercadeable

ε = término de error

Tal función puede ser lineal; pero es más frecuente la no lineal. La derivada parcial del precio con respecto al atributo agua representa una medida del valor marginal de la misma.

En la práctica, el método tiene sus dificultades para medir el valor del agua. Estas pueden ser:

- Se necesitan datos exactos
- Se requiere de muestras bastantes grandes
- Si la propiedad ya posee el recurso, el precio a lo mejor no refleja éste
- Los compradores y vendedores deben reconocer las diferencias entre los niveles de abastecimiento o calidad del agua.

4.2.1.3. El valor del agua a través de funciones de demanda derivadas de ventas de agua, propiedad o reguladas por el estado.

Aquí no se reúnen las condiciones de un mercado competitivo, porque el comprador se consigue con un precio del agua, que lo toma o lo deja, ya que es dado por un monopolio (el Estado). Sin embargo, ya que el comprador puede comprar toda la cantidad que quiera, a ese precio, inferencia sobre la DAP y demanda puede ser derivada si hay un número suficiente de observaciones sobre transacciones disponibles y éstas exhiben variación en precios reales.

La función de demanda es:

$$Q_w = Q_w(p_w, p_a, p; y; z) \quad [3]$$

Donde:

Q_w : nivel individual de consumo de agua en un determinado tiempo y período

p_w : precio del agua

p_a : precio del agua de una fuente alternativa

p : precio índice promedio que representa todos los otros bienes y servicios

y : ingreso del consumidor

z : otros factores como clima y preferencias

Generalmente, los datos utilizados son cantidades promedios de agua usadas a los precios cobrados, para un mismo período de tiempo. Los datos se toman desde una muestra de agencias de servicio de agua, las cuales exhiben un rango de tarifas y variación frecuente en otros factores como ingreso, lluvia, temperatura, etc. Se usa análisis de regresión para estimar los parámetros de la curva de demanda. Se usan varias agencias para tomar los datos y no datos individuales de consumidores.

4.2.2. Técnicas de valoración del agua como un bien intermedio

El mayor uso del agua en el mundo, es como un bien intermedio, en las actividades de riego, industria, generación hidroeléctrica u otros .

La demanda de los productores provee la base conceptual para valorar las implicaciones sobre el bienestar económico de incremento o reducciones del uso del recurso como insumo. Un modelo de la demanda del productor por el agua es el de costo mínimo para el mismo.

$$Q_w = Q_w(p_w, p_i, p_a; x; S) \quad [4]$$

Donde:

p_w = precio del agua

p_a = precio del agua de una fuente alternativa

p_i = vectores de precios de insumos (capital, mano de obra, materiales)

X = cantidad de producto a producir

S = consumo de agua

Existen tres métodos comunes para valorar el agua como un bien intermedio: método residual, método de los precios hedónicos (valor de la tierra) y el del costo alternativo.

4.2.2.1. Método residual

Es el más aplicado para valorar agua, especialmente cuando se trata de agua de riego. En él se determina la contribución incremental de cada insumo en el proceso de producción. Si se pueden asignar precios apropiados a todos los insumos, menos a uno, este residual del valor total del producto se asigna al insumo residual.

4.2.2.1.1. Derivación del valor residual

Se basa en dos supuestos. Primero, se asume que los productores quieren maximizar sus ganancias y por lo tanto agregarán insumos hasta el punto que el valor marginal del producto sea igual al costo de oportunidad del insumo. El segundo supuesto asume que el valor total del producto puede ser dividido en distintos recursos, los cuales son pagados de acuerdo a su productividad marginal.

Una ecuación ⁽¹⁾ que representa lo anteriormente dicho es la siguiente:

$$Y = f(K, L, R, W) \quad [5]$$

Donde Y es un producto producido por cuatro factores: capital (k), trabajo (L) otros recursos naturales R y agua (W).

Si se asumen factores y productos competitivos en un mercado, los precios pueden considerarse constantes y se puede escribir:

$$TVP_y = (VMP_k \times Q_k) + (VMP_L \times Q_L) + (VMP_R \times Q_R) + (VMP_w \times Q_w) \quad [6]$$

Siendo TVP_y el valor total del producto Y; VMP el valor del producto marginal para capital, trabajo, otros recursos y agua (K, L, R, W) respectivamente y Q la cantidad del recurso K, L, R, W respectivamente. Si de acuerdo al primer supuesto $VPM_i = P_i$, entonces se puede calcular el precio del agua como:

$$P_w = \{TVP_y - [(P_K \times Q_K) + (P_L \times Q_L) + (P_R \times Q_R)]\} / Q_w \quad [7]$$

4.2.2.1.2. Cambio en el ingreso neto

El caso anterior para un solo producto es menos típico que el de un multiproducto. Asimismo, muchas veces el objetivo es estimar el valor que contribuye un incremento o reducción de agua, antes que la cantidad entera. Para esta situación, se usa el método del cambio en el ingreso neto, a veces conocido como método de cambio de productividad o valoración del cambio de productividad.

La DAP por un incremento de agua es el ingreso neto al productor asociado con dicho incremento. El ingreso neto (Z) de producir una serie de productos puede ser:

$$Z = \sum_{i=1}^m (Y_i \times P_{yi}) - \sum_{j=1}^n (X_j \times P_{xj}) \quad [8]$$

Donde Y es productos y X insumos

El cambio en el ingreso neto es:

$$\Delta Z = Z_1 - Z_0 \quad [9]$$

Donde 0 y 1 son las situaciones sin proyecto y con proyecto respectivamente.

4.2.2.1.3. Cuando usar estos métodos

Dado a que la técnica del valor residual es muy sensible a pequeñas variaciones en la función de producción y en los precios, se recomienda usar la técnica cuando el agua contribuye en una fracción significativa al valor del producto. Si se omite un insumo o es subestimado en la función, su valor pasará al valor residual (agua), sobreestimando dicho valor.

4.2.2.1.4. La función de producción

Para que una función de producción sea correcta se deben reunir varias condiciones:

- Identificar y cuantificar todos los insumos importantes
- Estimar adecuadamente la función y nivel de producción asociada con los insumos descritos arriba.

- Tener cuidado cuando el agua contribuye en una pequeña fracción al valor de la producción.

4.2.2.1.5. Precios a usar para insumos y productos

Si existe intervención gubernamental o fallas de mercados, los precios encontrados en los mismos no reflejan su verdadero costo de oportunidad y por lo tanto el valor residual estará sesgado. En lo posible deben corregirse los precios de insumos y productos a su valor social para que el valor residual represente el valor económico.

4.2.2.1.6. Contexto del corto y largo plazo

Cuando se quiere determinar el valor del agua usando todos los insumos como variables, como lo anteriormente hecho, se asume un valor para el largo plazo. Cuando el análisis es para el corto plazo, algunos costos se asumen como fijos y por lo tanto son ignorados. Por ejemplo, para el cálculo del valor del agua de riego para una temporada, usando el método residual, se ignoran los costos de capital.

4.2.2.1.7. Método del valor residual usando técnicas de optimización

Se usan frecuentemente modelos matemáticos de programación para valorar el agua en agricultura y la industria. Los modelos se desarrollan para que representen la asignación óptima del agua y otros recursos usando como función objetivo la maximización de los beneficios netos, sujeto a restricciones de disponibilidad de los recursos, así como restricciones institucionales. La función será:

$$\text{Max } f(\gamma_i, X_i) \text{ sujeta a } A' X \leq B \quad [10]$$

Donde γ_i es el beneficio neto por actividad; X_i son las actividades de producción; A son coeficientes de producción y B un vector de restricción de insumos de producción como trabajo, capital, agua, otros recursos, etc. Usualmente, se usa una función objetiva lineal, pero pudiera ser de otro tipo.

4.2.2.2. El método del costo alternativo

El supuesto de la técnica es que si en un proyecto dado, de un tipo de producto específico, cuesta menos que la mejor próxima alternativa pública o privada que genera el mismo producto, el costo de este último proyecto se puede asignar como beneficio del proyecto originalmente concebido. El análisis debe verificar que la alternativa más costosa se construiría en la ausencia del proyecto original, estableciéndose la demanda para el producto de dicha alternativa.

Se basa en el conocimiento de que la DAP máxima de un bien o servicio público no es más grande que el costo de proveer ese servicio, usando otro proceso o tecnología. Esta última alternativa puede ser pública o privada y debe producir el mismo producto, pero de forma diferentes.

La técnica puede aplicarse fácilmente incorrectamente, por lo que su aplicación hay que hacerla con cautela. El error principal es siempre considerar alternativas que sean más costosas que la original.

El valor presente de los costos de las distintas alternativas deben ser determinados. Hay que considerar contextos de corto o de largo plazo, así como las tendencias en tecnologías y precios en el período de planificación. Se usa en medición del valor del agua en proyectos hidroeléctricos y de dilución de desechos.

4.2.3. Técnicas de valoración del agua como un bien de consumo

El agua puede verse como un bien de consumo privado o público. El primero se encuentra entre los usuarios residenciales (revisado en el punto 4.2.1.3). Demanda de consumo del agua como bien público se refiere a recreación, pesca, hábitat de vida salvaje, belleza escénica, amenidades, valor de existencia, entre otros. A veces es difícil separar si el agua es bien de consumo privado o público. En términos generales existen dos métodos para valorar el agua como un bien de consumo público: el de las preferencias reveladas o de observación directa y el de preguntas hipotéticas.

4.2.3.1. Métodos de preferencias reveladas

4.2.3.1.1. El método del costo de viaje

Es el mayormente usado para actividades de recreación.

Se basa en el hecho de que en ausencia de variación de pagos de entrada a sitios turísticos y de recreación que no permiten estimar directamente la demanda para estos sitios, si el costo de viaje a un sitio de recreación varía entre los distintos consumidores y si ellos responden a valores de costos de viaje más alto en la misma forma que ellos responderían a incrementos de valor de las entradas, se puede derivar una curva de demanda de visitantes al sitio para distintos costos de viaje.

El método tiene dos pasos: el primero es derivar la demanda individual para el recurso y el segundo derivar la curva de demanda agregada relevante del recurso en forma estadística. En la forma más sencilla, se dibujan círculos concéntricos alrededor del sitio. Debe encuestarse una muestra de recreacionista acerca del número de visitas, distancia de ida y vuelta al sitio, tiempo empleado y sus costos de viaje actuales. La colecta de datos se diseña para encuestar recreacionistas provenientes de distintas distancias, cuyo costo de viaje varía con la misma. El excedente del consumidor para cada zona puede ser calculado encontrando el área bajo la curva de demanda y arriba del costo de viaje para los residentes de cada zona. Los costos se usan para inferir la medida de excedente del consumidor deseada.

La aplicación en el sector agua tiene algunos problemas. Uno fundamental es que el agua puede ser uno de los muchos atributos que tiene un sitio, además la gente puede viajar a un sitio por muchas razones, no solo por el agua. En tal sentido, debe usarse algún método para determinar la contribución que tiene el agua (calidad o cantidad) en el valor total del sitio. Un análisis de sitios múltiple puede realizarse para estimar esa contribución. Asimismo, si sitios similares varían en la

calidad del agua, se puede inferir el valor incremental de la mejor calidad usando el método del costo de viaje.

Otro problema del método es estimar correctamente el costo de viaje. Por ejemplo, cuando se estima el valor por Km de viaje, cuales costos se deben incluir. Solo los gastos variables o los fijos y los variables. En el caso de pernocta y comidas, cuales costos incluir, promedios, bajos o altos. Asimismo, estimar el costo de oportunidad del tiempo de los recreacionista es un problema. Algunos autores usan una fracción del salario del recreacionista. El tratamiento que se le da a los sitios sustitutos también es un problema. La forma de la función y el tratamiento de viajes multipropósito también son problemas.

4.2.3.1.2. El método de los precios hedónicos

Es otro método que se puede usar para valorar el agua como un bien de consumo. El apartado 4.2.1.2 muestra una reseña del método.

4.2.3.2. Método de preguntas hipotéticas. El método de valoración contingente

En este método, a los entrevistado se le ofrecen condiciones que simulan un mercado hipotético, en el cual se les pregunta su máxima DAP por condiciones ambientales, actuales o potenciales, que no se registran en ningún mercado. El método usado más comúnmente es el de valoración contingente, MVC.

Una pregunta del MVC puede ser:

Suponga que el manejo del agua de un acuífero se cambie de tal forma que durante el año, el volumen que usted puede extraer se incremente en 100 m^3 . ¿cuál sería la cantidad máxima que usted esta dispuesto a pagar por dicho incremento?.

4.2.3.2.1. Diseño de un estudio usando el MVC

Existen varias premisas muy importantes para el diseño de un estudio usando el MVC

Primero: definir la población objetivo. Para un estudio que involucre uso directo del agua, la población objetivo serán los usuarios. Si se involucra valores de existencia, legado u opción, la población objetivo será la regional, nacional e inclusive internacional, si es el caso.

Segundo: definir el producto. Si se está haciendo para un flujo de agua determinado, éste debe describirse lo más preciso a los encuestados. El uso de ayudar audiovisuales puede ser necesario.

Tercero: definir el vehículo de pago. Este será a través de impuestos, cargo de entradas, contribuciones u otros. El vehículo de pago debe ser realista, fácil de recolectar y adecuado como método de financiamiento.

Cuarto: el formato de la pregunta. Puede ser abierta, de subasta o dicotómica. Adelante, se discute cada una de ellas.

Quinto: el método de análisis estadístico a usarse. Depende del formato de la pregunta. La mayoría usa análisis de regresión. El formato dicotómico usa modelos de selección discretos como el Logit o Probit.

Sexto: identificación de variables complementarias a ser usadas en el modelo de regresión

Séptimo: selección de la técnica para recoger los datos. Puede ser por encuesta personal, por teléfono, por correo, correo electrónico. Factores como precisión y costos del estudio se intercambian para seleccionar la técnica.

El cuestionario a aplicar en un estudio, usando el MVC, típicamente comprende tres componentes:

El primer componente describe la situación en la cual él o la entrevistada actuará. Esto permite a los encuestados imaginarse tal situación. Si por ejemplo, se va a hacer un cambio de política o una reasignación del recurso agua, se describe dicha situación. Si se quiere valorar un incremento del recurso, el mismo debe ser descrito adecuadamente.

El segundo componente corresponde a la selección de las preguntas a ser realizadas para inferir el valor.

El tercer componente son preguntas acerca del entrevistado. Preguntas socioeconómicas como edad, nivel de educación, ingreso, sexo, entre otras, son frecuentes. Asimismo, hay preguntas sobre actitudes y creencias, como por ejemplo actitud hacia la conservación del ambiente. Las preguntas son variables que se incluyen en el análisis estadístico.

4.2.3.2.2. Formato de las preguntas

El formato de las preguntas usadas en un MVC, para requerir la DAP, ha evolucionado en los últimos veinte años.

Inicialmente, se usó una pregunta directa sobre la máxima disposición a pagar. Esto se llamó pregunta abierta, pregunta directa, etc. Su uso se ha ido restringiendo porque coloca a los entrevistados en una situación no familiar. Generalmente, en un mercado, al consumidor se le coloca una lista de precio para que él decida. Los resultados son que hay una tasa muy alta de no respuestas, así como valores muy altos o muy bajos que llevan a una gran varianza.

Otra forma de formato usada fue la de subasta. Se le preguntaba al entrevistado si quería pagar una cantidad X. Si respondía si, se subía el monto hasta el punto que dijera no. Si respondía no, se bajaba el monto hasta que dijera si. Se encontró que el monto con que se iniciaba la subasta, tenía efecto sobre el resultado final.

Otro tipo fue el llamado carta de pago. En una carta de pago se le coloca a los entrevistados una lista visual de pagos anuales que van desde cero a un número grande, para que ellos seleccionen uno. En la lista pueden haber números similares a los impuestos que la gente paga por peaje, educación, protección contra incendios, etc. Esta forma reduce parcialmente el efecto del punto de inicio del método de subasta.

Otra forma usada es la de “referéndum”. Bishop y Heberlein (1979)⁽⁴⁾ fueron los primeros que lo usaron para estudiar de DAP por la cacería de alces en Wisconsin (USA). Ellos establecieron un número de precios predeterminados, los cuales esperaban ocupaban todos los rangos de DAP. Los entrevistados se agruparon en submuestras y a cada miembro de una submuestra, se le presentó un mismo precio, preguntándole si o no pagarían dicho precio. A cada submuestra se le asigna aleatoriamente un precio. El método es familiar a la mayoría de entrevistados debido a que sus decisiones en el mercado, cuando compran algo la hacen similarmente. Elimina el sesgo estratégico pues los entrevistados no tienen incentivo para sesgar su respuesta. El modelo estadístico usado es el Logit, el cual predice la probabilidad de aceptar una oferta en función del valor requerido y otras variables (socioeconómicas, actitudes y creencias). El método Logit es más complejo y menos familiar que el usado para la pregunta abierta y subasta (se calcula más fácil el valor de la media o la mediana). El método dicotómico puede tener un sesgo de complacencia del entrevistado con el encuestador por lo cual le contesta “sí” sin importar su verdadera opinión. Dado que los entrevistados no proporcionan su máxima DAP, se requiere de un número grande de muestra.

También hay una combinación del método de referéndum con uno de seguimiento. Si la respuesta es no, se le proporciona un nuevo valor más pequeño, seleccionado aleatoriamente. Si es sí, se proporciona un nuevo valor más grande, seleccionado aleatoriamente.

Con este proceso se gana en información y se reduce el número de muestra que requiere el método de referéndum.

4.2.3.2.3. Sesgos en el MVC

Los sesgos en el MVC pueden dividirse en conducta estratégica, sesgo de complacencia, punto de inicio, sesgo relacional, sesgo de importancia y posición, mala interpretación del escenario, entre otros.

Conducta estratégica significa que el entrevistado piensa que con su respuesta influirá sobre la provisión futura del recurso que es valorado. Si la pregunta está bien diseñada puede minimizarse este sesgo. El vehículo de pago seleccionado también puede reducir o evitar este sesgo.

Sesgo de complacencia se refiere a que el entrevistado por querer complacer al entrevistador o a la agencia que hace el estudio contesta sin tomar en cuenta su criterio propio. Para reducir el sesgo se requiere de entrevistadores profesionales que no afecten las respuestas del entrevistado.

El sesgo del punto de inicio fue ya discutido en el formato de subasta

Sesgo relacional ocurre cuando el recurso a ser valorado es relacionado por el entrevistado con otro recurso.

Sesgo de posición e importancia ocurre en las cartas de pago o en aquellos casos donde se mencionan varios atributos a valorar y la gente piensa que por estar de primero o mayormente mencionado es muy importante. Asimismo, porque cree que se le pregunta un valor extra, este debe ser debido a que si existe este valor, lo que se valora es muy importante.

Mala interpretación del escenario. Ocurre cuando el entrevistado no entiende la situación dada presentada por el entrevistador. Para reducirlo se debe diseñar cuidadosamente, hacer pruebas pilotos y de convergencia hasta estar seguro que se extiende lo presentado.

4.2.3.2.3. Ventajas y desventajas del método de valoración contingente

La principal ventaja es que este puede medir potencialmente el valor del agua en el marco de la teoría económica. Asimismo, mide valores futuros como actuales. Es la única técnica que mide valores de no uso. Se ha usado para estudiar demanda para abastecimiento de agua doméstico y mejoramiento de saneamiento del recurso en villas rurales de países en desarrollo. La principal desventajas son sus sesgos, su necesidad de conocimiento profundo de econometría y sus costos y tiempo para realizar el estudio.

4.2.3.2. Métodos para calcular valores generalizados: transferencia de beneficios o meta análisis.

Transferencia de beneficios se refiere al proceso de adaptar estimados obtenidos en sitios estudiados a sitios que carecen de estos estudios. Se usan datos de estudios realizados, por ejemplo, modelos de análisis de regresión con sus respectivas variables y coeficientes y se cambian algunas pertenecientes al sitio sin datos para estimar un valor. En términos generales se usan los coeficientes de un sitio estudiado y se transfiere al que no tiene datos. La transferencia de beneficios es una meta análisis. Otro tipo son análisis de comparación de valores obtenidos por distintos métodos, por ejemplo costo de viaje y valoración contingente.

5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

5.1. Ejemplos de valoración del agua como un bien intermedio

5.1.1 Valoración del agua como costo de obtención a partir de inversiones públicas

La valoración del agua como un bien intermedio, por ejemplo en riego puede estimarse como el costo que tiene que tener el recurso para que haga rentable una inversión pública. Este procedimiento lo presenta Caballer⁽⁵⁾ en la siguiente forma:

$$VAN = -A + \sum_{i=1}^n \frac{Qi}{(1+K)^i} \quad [11]$$

VAN : valor actual neto

A : inversión o pago inicial en el año cero

Qi : flujo de caja en el año i

K : tasa de actualización al coste de capital

$$A \text{ su vez } Qi = Ci - Pi \quad [12]$$

Ci : ingresos en el año i

Pi : egresos en el año i

Los ingresos proceden de la venta de agua y de energía eléctrica, por ejemplo:

$$C_i = p_i \cdot X_i + p' \cdot X' \cdot X' \quad [13]$$

p_i : precio de la energía eléctrica en el año i, US\$/Kwh

X_i : número de Kwh producidos en el año i

p' : precio del agua en el año i, US\$/m³

X' : cantidad de agua vendida en el año i

P_i corresponden a los costos de operación, mantenimiento, administración, etc para producir a X_i y X'.

Si se suponen constantes los términos y para que exista rentabilidad, VAN ≥ 0, se tendrá que p' se podrá determinar de

$$VAN = \frac{-A + \{[(p \cdot X) + (p' \cdot X')] - P\} \cdot [(1 + K)^n - 1]}{K \cdot (1 + K)^n} \quad [14]$$

n: años del periodo de planificación determinado

Usando los siguientes datos, se puede aplicar el procedimiento dado. Suponga que se va a construir una obra pública para producir energía eléctrica y para abastecer agua para riego. El costo de la obra es de 120 x 10⁶ pesetas, los cuales se desembolsarán el año 0, suponiendo un valor residual nulo al final de la vida útil, estimada en 10 años. Los pagos anuales por operación y mantenimiento durante los diez años serán de 5 x 10⁶ pesetas. La obra producirá 1 x 10⁶ KWH/año y 900.000 m³ anuales de agua. Suponiendo un precio de energía constante de 12 pesetas/kwh durante los 10 años, una tasa de descuento del capital de 6% anual, calcular el precio mínimo a que deberá venderse el agua.

Analizando la inversión se tendrá que el valor anual de ésta es:

$$Va = A \times \left[\frac{(1 + K)^n \times K}{(1 + K)^n - 1} \right] \quad [15]$$

$$Va = (120 \times 10^6) \left(\frac{(1 + 0,06)^{10} \times 0,06}{(1 + 0,06)^{10} - 1} \right) = 16.304.154,98$$

$$p' = \frac{Va + P - (p \cdot x)}{X^1} \quad [16]$$

$$p' = \left[\frac{(16 \cdot 304 \cdot 154,98 + 5 \times 10^6) - (12 \times 1 \times 10^6)}{900.000} \right]$$

$p' = 10,34$ pesetas/ m^3 , el cual es el valor mínimo del agua para que la obra resulte rentable. Si se cambia el precio de la energía, también cambiará el precio del agua. La Tabla 2 muestra el precio del agua para distintos precios de venta de la energía.

Tabla 2. Cambio del precio del agua para distintos precios de venta de la energía

Precio de energía (pesetas/kwh)	Precio del agua (pesetas/ m^3)
5	18,12
12	10,34
20	1,45
30	-

Esto evidencia que a mayor precio de la energía, el precio del agua disminuiría (claro que ésta son situaciones hipotéticas) para hacer rentable a la obra.

5.1.2. Valoración del agua de riego partiendo de la función de producción

La Tabla 3 muestra los resultados de un estudio realizado por De Mastro⁽⁶⁾ en el año 1990, en San Severo, Sur de Italia, cuyos datos se usarán para calcular el valor del agua de riego en función de la producción de algodón.

Tabla 3. Producción de algodón en función de la densidad de plantación y de la dosis de agua de riego; De Mastro⁽⁶⁾.

Producción (t/ha)	Agua (m^3 /ha)	Densidad (planta/ m^2)
1,03	300	6
1,48	663	6
1,86	1111	6
2,13	1610	6
1,78	1304	6
2,15	2252	6
0,94	300	9
1,50	663	9
1,79	1111	9
2,38	1610	9
2,05	1304	9

Tabla 3. Continuación

Producción (t/ha)	Agua (m³/ha)	Densidad (planta/m²)
2,48	2252	9
1,10	300	12
1,71	663	12
1,77	1111	12
2,17	1610	12
2,25	1304	12
3,09	2252	12
1,28	300	15
1,33	663	15
2,28	1111	15
2,43	1610	15
2,55	1304	15
3,07	2252	15

A partir de los datos, la función de producción es:

$$q = 0,2189 + 0,001322 A + 0,04711D - 0,0000001977A^2 \quad [17]$$

$$R^2 = 0,8903$$

q = Producción de algodón, toneladas por hectárea

A = Dosis de agua de riego, en metros cúbicos por hectárea

D = Densidad de plantación, en plantas por metro cuadrado

Para calcular el valor del agua para ese año, se deriva la función respecto a la dosis de agua, lo que equivale a igualar el costo marginal al ingreso marginal. Es decir, partiendo de

$$I = p \cdot q \quad [18]$$

I = Ingreso

p = precio de la cosecha

q = cantidad (producción de la cosecha)

$$I = p \cdot (0,2189 + 0,001322 A + 0,04711D - 0,0000001977A^2) \quad [19]$$

El beneficio máximo se obtiene cuando se cumple la condición de que el beneficio marginal es igual al costo marginal, por lo tanto el ingreso marginal con respecto al agua será dI / dA .

$$dI / dA = p \cdot dq / dA = p (0,001322 - 2 \cdot 0,0000001977A) \quad [20]$$

La Tabla 4 muestra los costos marginales de agua para distintas dosis de riego y precios del algodón.

Tabla 4. Valor del agua en función de sus dosis y precio del algodón, De Mastro⁽⁶⁾

Agua (m³/ha) Rendimiento marginal	300 0,0012	663 0,0011	1111 0,009	1610 0,0007	2252 0,0004
Precio del algodón por tonelada.					
130000	156,44	137,78	114,75	89,1	56,1
135000	162,46	143,08	119,17	92,53	58,26
140000	168,47	148,38	123,58	95,96	60,42
145000	174,49	153,68	127,99	99,38	62,58
150000	180,51	158,98	132,41	102,81	64,73

Como se observa, el valor del agua (DAP) para el agricultor disminuye a medida que aumenta el volumen de agua empleada, ya que disminuye la productividad marginal. Asimismo, aumenta con el precio, debido a que éste incide directamente en el ingreso marginal.

5.1.3. Valoración del agua de riego a partir de la productividad media

Tomando en cuenta el desconocimiento que se tiene de las funciones de producción de los cultivos y el precio de la cosecha, se puede asumir el valor del agua a partir de la productividad media. En este caso, el valor del agua, V_1 viene de multiplicar el precio de la cosecha (p), por el incremento en producción ($q_0 - q_1$) dividido todo por el agua aportada, A_0 , para alcanzar la máxima producción técnica, q_0 . Entonces

$$V_1 = \frac{(q_0 - q_1) \cdot p}{A_0} \quad [21]$$

Una aplicación puede ser para el ejemplo anterior; siguiendo la ecuación (17) se encuentra que si no se aplica agua de riego, se obtiene una producción de 0,2189 tn/ha. Asimismo, el máximo técnico se consigue cuando se aplican 3343,4 m³/ha de agua, para una producción de 2,712 tn/ha. Asumiendo un precio de 130.000 pesetas, entonces el valor del agua será

$$V_1 = \frac{(2,712 - 0,2189) \cdot 130.000}{3343,4} = 96,94 \text{ pts} / \text{m}^3$$

5.1.4. Valoración de la calidad del agua a partir de una función de producción y la productividad media

Una medida del valor del agua (en cantidad y calidad) como bien intermedio puede ser extraída de experiencias realizadas en Venezuela, específicamente en el Valle de Quibor, estado Lara. Para tal fin el parámetro de calidad del agua a estudiar es su salinidad.

Al irrigar los suelos con aguas de altos contenidos salinos se salinizan los suelos. Tal salinización produce una reducción en los rendimientos de la mayoría de los cultivos. Para corregir el problema existen muchas técnicas, siendo la más usada la de lixiviado de las sales usando la misma agua; pero en una cantidad superior a la que requiere el cultivo para cumplir su función evapotranspiratoria.

El método a presentar aquí puede servir para conocer el valor del agua cuando se usa en exceso para lixiviar; para cuando se usa una agua de distinta calidad; para cuando se hace un cambio de cultivo, para cuando se cambia el método de riego, para cuando se mejoran las condiciones del suelo y se aumenta su infiltración y precolación y muchos otros casos.

El procedimiento consiste en aplicar una serie de ecuaciones, asumiendo que se cumplen los supuestos de cada una de ellas. La primera consiste en predecir con que salinidad (medida en el extracto de saturación del suelo) terminará un suelo, el cual ha sido sometido a riego durante un ciclo (puede ser más de uno), con una agua de determinada calidad, en un área con una precipitación efectiva y una evapotranspiración para cierto cultivo, en el período estudiado.

La ecuación de predicción es:

$$CE_{sf} = \frac{hcc}{hs} \left[\frac{2 \left[CE_r \{ (ET - Pe) + (R + Pe - ET) f \} - (R + Pe - ET) f \left\{ \frac{hs \cdot (CE_{si})}{hcc} \right\} \right]}{2 Hcc + (R + Pe - ET) f} + \frac{hs \cdot CE_{si}}{hcc} \right] \quad [22]$$

CE_{sf} : conductividad eléctrica final en el extracto de saturación, dS/m

CE_{si} : conductividad eléctrica inicial en el extracto de saturación, dS/m

CE_r : conductividad eléctrica del agua de riego, dS/m

ET : evapotranspiración máxima en el período, mm

Pe : precipitación efectiva en el período, mm

R : lámina neta de riego aplicada en el período, mm

hs : % de humedad del suelo, en volumen, a saturación

hcc : % de humedad del suelo, en volumen, a capacidad de campo

Hcc : lámina de agua del suelo a capacidad de campo, en mm

f : eficiencia de lavado del suelo, depende de la textura y estructura, en decimales

Suponga los siguientes datos para calcular CE_{sf}

CEsi = 2 dS/m; ET = 600 mm; Pe = 100 mm; R = 700 mm,

CEr = 2 dS/m; hs = 50%; hcc = 28%; Hcc = 0,39 mm f = 0,8

Resolviendo ecuación 22, CEsf = 6,23 dS/m

La salinidad media, Sm, en el periodo

$$Sm = \frac{CEsi + CEsf}{2} \quad [23]$$

Para los datos del ejemplo, Sm = 4,12 dS/m

El rendimiento relativo de los cultivos según la salinidad en el extracto de saturación del suelo se determina por la ecuación mostrada en la FAO (1987)⁽⁷⁾.

$$Y = 100 - [b (Sm - a)] \quad [24]$$

Y = producción relativa en %

a = valor umbral, dS/m, representa la máxima salinidad en el extracto de saturación del suelo a partir del cual empieza a caer los rendimientos.

b = decrecimiento del rendimiento por cada aumento unitario de la salinidad, en %

a y b están tabuladas

Si asumimos como un cultivo al tomate, a = 2,5

b = 9,5; entonces y = 85%. Si la producción potencial es 20000 Kg/ha, el rendimiento obtenido para esas condiciones es 17.000 Kg/ha. Si el beneficio neto de valor de la cosecha es US\$ 1,5/Kg, entonces el valor de la producción es de US \$ 25500/ha.

Supóngase ahora que R cambia de 700 mm a 800 mm, entonces CEsf cambia a 4,16 dS/m; Sm a 3,08 dS/m; y pasa a ser 94,5%, la producción por hectárea será 18900 Kg/ha, con un valor de US\$ 28.350/ha.

Si la eficiencia de aplicación del agua de riego es 60%, el volumen bruto aplicado en incremento

a la hectárea será $1667 \text{ m}^3 \left(\frac{800 - 700}{0,6 \times 1000} \times 10000 \right)$ y el valor del agua será:

$$V = \frac{28350 - 25500}{1667} = \text{US\$ } 1,71 / \text{m}^3$$

Este valor es el obtenido por incrementar la lámina de agua para lavado de sales en 100 mm para esas condiciones de cultivo, suelo, clima y salinidad del suelo y del agua.

5.1.5. Costo de oportunidad (método del costo alternativo) para la valoración del agua

En la sección 4 se estudiaron los aspectos teóricos del método del costo alternativo o del costo de oportunidad. Suponiendo que los supuestos básicos del método se cumplen, su aplicación es directa. Tomando como ejemplo el ejercicio de la sección 5.1.1, se consiguió un costo de obtención del agua de riego de 10,34 pesetas/m³, para un agua superficial. Si el sitio de interés se va a explotar con agua subterránea, se tendrá que realizar un procedimiento similar al de la sección 5.1.1. para valorar el agua. Si se supone que la alternativa es proveer el agua superficial con los datos de la sección antes mencionada, el costo de oportunidad de esta agua superficial es 10,34 pesetas/m³. Es posible que a estos costos deben agregárseles los costos de las externalidades de explotar la fuente superficial.

5.1.6. Valoración del agua a través del cambio del valor de la propiedad. Los precios hedónicos.

La sección 4 presentó una discusión de los precios hedónicos. La aplicación puede ser para detectar el valor del agua a través de la diferencia del precio de las propiedades para una variación de la cantidad o calidad del agua que tiene disponible para usar. Un ejercicio hipotético de aplicación del método se hará más adelante.

5.1.7. Valoración del agua para uso industrial

Valorar el agua para uso industrial es complejo. Tal afirmación se debe a que existen diversos tipos de industrias, así como diferentes usos del agua en la misma. Por otro lado, no es fácil obtener datos exactos para estimar la demanda de agua de este sector y finalmente, existe la dificultad de obtener precios sombras en la industria, sobre todo para el agua.

El uso del agua en las industrias pueden ser para enfriamiento de plantas de generación eléctrica, para la manufactura y procesos de productos químicos, refinación de petróleo, producción de pulpa y papel, procesamiento de alimentos, entre otros. Otros tipos de uso son para limpieza sanitaria, protección contra incendios, etc. Generalmente, los métodos de valoración del agua para el sector incluye un método econométrico y uno de modelo de optimización, similar al método residual antes descrito.

5.1.7.1. Método econométrico

Se basa en hacer inferencias a partir de datos de cantidades consumidas de agua y sus respectivos costos, junto con otros datos que traten de explicar el comportamiento de la demanda. Estas últimas incluyen tipo de tecnología, proceso de producción, mezcla de productos, nivel de producción, etc. Los datos pueden provenir de industrias similares o de la misma industria en distintos períodos de tiempo. Las principales dificultades encontradas para realizar este tipo de análisis son:

- Obtención de datos suficientes y precisos

- Carencia de precio obtenido de medidas volumétricas
- Muchas industrias poseen su propia fuente de agua

Renzetti (1992)⁽⁸⁾ obtuvo en un estudio en Canadá, que la curva de demanda por uso de agua en las industrias presentaban una elasticidad precio que varió entre $-0,15$ a $-0,59$, con una media de $-0,38$.

5.1.7.1.1. Una aproximación usando una elasticidad de la demanda supuesta

Dada la dificultad de obtener una curva de demanda debido a que no existe mucha información, es posible usar una ecuación que tenga una elasticidad supuesta de la demanda para obtener una aproximación de los beneficios del incremento del uso del agua. Se necesitan cuatro parámetros:

- Los primeros dos consisten de unos puntos de las curvas relativos a precio – cantidad. Por lo tanto debe medirse la cantidad consumida en determinado período y el precio para ese período.
- Un cambio hipotético en cantidad (que será lo que se evaluará)
- Un estimado de la elasticidad precio de la demanda

El beneficio a obtener (el valor) vendrá dado por el área bajo la curva de demanda. Para obtener la misma, se asume que la elasticidad precio es conocida (M), se comporta constante y no es igual a 1.0. Asimismo, se conoce el precio inicial, P_1 y la cantidad Q_1 que se consume. El valor del agua, V , (área bajo la curva de demanda) para un cambio de cantidad de agua de Q_1 a Q_2 viene dado por:

$$V = \left[(P_1 \times Q_1^{1/\epsilon}) / (1 - 1/\epsilon) \right] \left[Q_1 / Q_1^{1/\epsilon} - Q_2 / Q_2^{1/\epsilon} \right] \quad [25]$$

V representa el valor del incremento del agua.

$1/\epsilon$ es el inverso de la elasticidad precio de la demanda. Sin embargo, el costo ($P_1 \times Q_1$) es el monto total por el agua que entra a la industria. Si se quiere saber el valor del agua cruda en la fuente (excedente del consumidor), S , se debe usar la siguiente ecuación:

$$S = V - (P_1 \times Q_1) \quad [26]$$

Este es el valor del agua cruda para el usuario en la fuente. Si este se divide entre el incremento de Q_2 a Q_1 , entonces da el valor del agua cruda, V_R en la fuente.

$$V_R = \frac{S}{Q_2 - Q_1} \quad [27]$$

V_R representa el valor económico del agua para el usuario industrial. Este se puede corregir tomando en cuenta las posibles pérdidas.

5.1.7.2. Método residual, cambio de productividad (cambio del ingreso neto), modelo de optimización.

El método residual y el de cambio de productividad ya fue descrito en el punto 4 y se hicieron ejercicios en el punto 5 para agua de riego. Asimismo, se describió modelos de optimización en el punto 4.

5.1.8. Valoración del agua en la generación hidroeléctrica

El agua es un insumo primordial en la generación hidroeléctrica. Cuando se construyen embalses para generar electricidad, además de los otros usos (riego, industria, pesca, etc.) puede haber competencia entre dichos usos, por lo que la valoración del agua para cada uno es esencial.

El valor del agua para hidroelectricidad es sitio específico. Young (1996)⁽¹⁾ especifica dos pasos para valorar el agua para generación hidroeléctrica. Primero valorar la cantidad producida de electricidad para una planta hidroeléctrica específica. Usualmente, esto se hace a través del costo de oportunidad de otra fuente de producción eléctrica (planta térmica), obteniéndose el precio sombra de la electricidad. Segundo, usando el método residual, se calcula la porción del valor total de la electricidad atribuible al agua usada para generar.

5.1.8.1. Modelo para derivar el valor de agua en generación hidroeléctrica

Albery (1968)⁽⁹⁾ formuló un modelo, el cual tiene todavía aplicabilidad para valorar el agua en generación hidroeléctrica. El modelo deriva la máxima DAP por agua tomando en cuenta una alternativa más barata de fuente de electricidad. El valor de un pie cúbico por segundo, X, para un año viene dado por:

$$X = Y_f (0.0848)eh - [0,0848 C (\alpha + \beta) / 8760f] \quad (28)$$

donde:

G = costo de capital, US\$/KW, de capacidad de generación de una infraestructura (presa, planta).

T = costo de capital, US\$/KW, de capacidad de líneas de transmisión y subestación

C = G + T

αC = costo de capital como Costo Anual equivalente, donde α es el factor de recuperación de capital para un período de planificación y una tasa de interés dada.

β = porcentaje de costo de capital para calcular el costo anual de operación y mantenimiento.

e = eficiencia general hidráulica, mecánica y eléctrica

- f = factor anual de utilización de la capacidad (tasa de carga media de la planta sobre la capacidad instalada de generación).
- h = carga efectiva media en pies (altura de agua del lago menos la elevación de la cola de agua).
- q = caudal (pies cúbicos por segundo) a generación máxima (se asumen que todos los equipos operan a su capacidad máxima normal de carga).
- Z = valor de un acre pie de agua (US\$)
- y_f = precio de cuenta de la electricidad (US\$/KWh) al factor f. Debe determinar por el método de costo alternativo para cada caso.
- 0,0848 = constante relacionando pies cúbicos de agua a kilowatio hora
- 8760 = número de horas en un año

Dividiendo X por 721.127 (constante que convierte pies cúbico por año en un acre pie) se obtiene Z.

5.2. Ejemplos de valoración del agua como un bien de consumo privado

En este aparte se considerará el agua como bien de consumo privado aquella de uso residencial o doméstico. Incluye usos para beber, cocinar, sanitarios, jardines, etc. Incluye el uso en agencias del gobierno, no gubernamentales, comercio.

5.2.1. Análisis econométrico

El análisis econométrico busca derivar una curva de demanda entre la cantidad de agua a usar y su precio. Algebraicamente, la función es:

$$Q_w = Q_w(p_w, p_a, P; Y; Z) \quad (29)$$

- Q_w = nivel de uso del agua en un período de tiempo determinado
- p_w = precio del agua
- p_a = precio del agua de una fuente alternativa
- P = precio medio índice de otros bienes y servicios
- Y = ingreso del consumidor
- Z = preferencias del consumidor, etc.

Algunos tópicos a discutir en mayor profundidad para construir la curva de demanda son:

5.2.1.1. Tipo y número de observaciones

Hay dificultad de obtener datos confiables y suficientes para construir la curva. Más que todo se debe a que no es común encontrar en los países en desarrollo gastos del agua medida volumétricamente, aunque la dotación de medidores ha ido aumentando progresivamente. Consumo promedio por conexión puede ser usado. En este último hay que tener en cuenta el agua perdida en la red

5.2.1.2. El precio a usar en la curva. Precio marginal o precio medio

El precio medio corresponde al ingreso total obtenido por la agencia de agua dividido por la cantidad suplida. El precio marginal puede ser el costo de suplir una unidad adicional de agua. La tasa de entrega programada de agua se cobra basada en el costo del servicio, el cual lo fija un monopolio natural. Medir el precio marginal no es sencillo. Además, hay investigadores que sostienen que los consumidores perciben mejor un precio medio debido a que sus gastos en agua no son muy significativos, no importándole mucho un precio marginal. Mckean, Taylon y Young (1996)⁽¹⁰⁾ sostienen que usar precio medio sobrestima el coeficiente de elasticidad precio.

5.2.1.3. Otras variables que afectan la curva de demanda

Además de la medida de precio y de cantidad de agua, otras variables afectan la curva de demanda. Entre éstos se encuentra el ingreso del consumidor, características climáticas, políticas de precio, incentivos, etc. Cuando estas variables se obtienen en forma aproximada de datos secundarios, puede haber error en la curva de demanda.

5.2.2. Otros métodos de estimar la demanda residencial de agua

Valoración contingente y método de los precios hedónicos han sido usados para estimar la demanda residencial de agua. Ambos fueron descritos en la sección 4.

5.2.3 Ejemplo de aplicación usando el análisis econométrico

5.2.3.1 Planteamiento del problema

La Alcaldía del Municipio Libertador, en coordinación con la Empresa Aguas de Mérida C.A., está analizando mejorar el servicio de agua potable de la ciudad de Mérida, Venezuela. La mejora se hará en dos etapas:

Etapa 1. Realizar una redistribución del agua

Etapa 2. Incrementar el suministro del recurso

Mediante un análisis econométrico, se determinó dos sectores bien diferenciados en la ciudad, ambos con distintas curvas de demanda.

Sector A. Curva consumidor promedio, $P_A = 23,04 - 0,46 X_A$ [30]

Sector B. Consumidor promedio, $P_B = 23,19 - 0,29 X_B$ [31]

Donde:

P_A y P_B = Cantidad que el consumidor promedio A y B respectivamente esta DAP para consumir una unidad adicional de agua (céntimos/litro).

X_A y X_B = Cantidad de agua que consumen los consumidores A y B, en litros/día

En la actualidad, el consumidor del sector A consume 14 l/d y el del B 60 l/d. ¿Cuáles serán los beneficios de hacer una redistribución de estos consumos?

Luego de hacer la redistribución, ¿cuáles serán los beneficios de incrementar en el acueducto el suministro de 74 l/d a 90 l/d?

5.2.3.2.Solución

Situación actual. Beneficios totales actuales de ambos sectores se consigue calculando el área bajo la curva de cada sector. Matemáticamente, el ejercicio se realiza integrando sus curvas de demanda.

$$\text{Sector A} = \int_0^{14} (23,04 - 0,46 X_A) \frac{dp}{dA} = \int_0^{14} 23,04 X_A - \frac{0,46 X_A^2}{2} \quad [32]$$

$$\text{Sector B} = \int_0^{60} (23,19 - 0,29 X_B) \frac{dp}{dB} = \int_0^{60} 23,19 X_B - \frac{0,29 X_B^2}{2} \quad [33]$$

Los resultados son:

Beneficio total de A: \$ 2,77

Beneficio total de B: \$ 8,69

Beneficio total actual: \$ 11,46

Beneficio B > Beneficio A , se requiere una redistribución de los 74 l/día que proporciona el acueducto.

Supóngase una redistribución equitativa (sin tomar en cuenta el criterio económico, en donde se obtiene mayor beneficio en el punto donde la DAP marginal de ambos sectores sean iguales). En este caso A pasa de 14 a 37 y B de 60 a 37 l/día.

$$\text{Benef. total de A} = \int_{14}^{37} 23,04 X_A - \frac{0,46 X_A^2}{2} = \$ 2,6 \quad [34]$$

$$\text{Benef. total de B} = \int_{60}^{37} 23,19 X_B - \frac{0,29 X_B^2}{2} = \$ 2,1 \quad [35]$$

El beneficio incremental es \$ 0,5

Para encontrar la DAP marginal igual, se puede realizar por tanteo y error

Sector A		Sector B	
P _A	X _A	P _B	X _B
16,6	14	6	60
13,84	20	8	54
10	29	10	45
9,24		10,43	44

El precio marginal de 10 centavos es el precio eficiente. A ese precio A consume 29 y B 45 lts. Los beneficios son:

$$\text{Benef. A} = \int_{14}^{29} 23,04 X_A - \frac{0,46 X_A^2}{2} = 1,97 \quad [36]$$

$$\text{Benef. total de B} = \int_{60}^{45} 23,19 X_B - \frac{23,19 X_B^2}{2} = 1,19 \quad [37]$$

El beneficio incremental es de US \$ 0,78, (1,97 – 1,19) que como era de esperarse supera al de distribución equitativa (US \$ 0,5).

El próximo paso es conseguir los beneficios para el consumidor A y B de incrementar la cantidad de agua de 74 l/d a 90 l/d. Para estimarlo hay que calcular primero la cantidad de incremento a cada uno de los consumidores.

En primera instancia hay que calcular el beneficio total después de la distribución de los 74 l/d.

$$\text{Benef. A} = \int_0^{29} 23,04 X_A - \frac{0,46 X_A^2}{2} = 4,74 \quad [38]$$

$$\text{Benef. B} = \int_0^{45} 23,19 X_B - \frac{0,29 X_B^2}{2} = 7,5 \quad [39]$$

Beneficio total = 4,74 + 7,5 = US \$ 12,24

Calcular la DAP marginal igual para A y B para distribuir eficientemente el nuevo incremento. Entonces:

Sector A		Sector B	
P_A	X_A	P_B	X_B
0,10	29	0,10	45
0,80	33	0,90	50
0,70	35	0,7	55

US \$ 0,70 es el precio marginal igual para A y B, consumiendo A, 35 l/d y B, 55 l/d con lo cual se suma 90 l/d. Los beneficios del incremento son:

$$Benef. A = \int_0^{35} 23,04 X_A - \frac{0,46 X_A^2}{2} = US\$ 5,25 \quad [40]$$

$$Benef. B = \int_0^{55} 23,19 X_B - \frac{0,29 X_B^2}{2} = US\$ 8,37 \quad [41]$$

Beneficio total = US \$ 13,62

Beneficio del incremento de 74 l/d a 90 l/d es $(13,62 - 12,24) = US \$ 1,38$. Este representa el beneficio tanto por el aumento de la cantidad de agua, así como por la respuesta de la demanda que a mayor cantidad disponible, el precio marginal bajo de US \$ 0,1 a US \$ 0,07.

5.3. Ejemplos de valoración del agua como un bien de consumo público

La referencia del valor del agua como un bien de consumo público o cuasipúblico tiene que ver con la valoración del recurso en la recreación y proporcionador de amenidades; en el mejoramiento de la calidad que incluye efectos en la recreación, en enfermedades transmitidas por agua y el recurso como diluyente de cargas de desechos y finalmente el recurso y su efecto en las inundaciones.

5.3.1. El valor del agua en la recreación y proporcionador de amenidades

Un valor económico del agua muy importante viene de su valor en la recreación, bellezas escénicas y proporcionador de hábitats de peces y vida salvaje.

Loomis y otros (1991)⁽¹¹⁾ determinó DAP (método de valoración contingente) de dueños de viviendas en California, USA, para la preservación, expansión y protección contra la contaminación de los humedales que refugian vida salvaje. El resultado fue un pago por año adicional a los impuestos de US \$ 254/propietario de vivienda para incrementar la superficie de los humedales y un incremento de 40% de la población de aves.

Un aspecto muy importante a valorar es el caudal ecológico, el cual debe ser el caudal que permita en el corto plazo la calidad de pasear en bote, pesca deportiva, belleza escénica, nado, pasear alrededor del recurso, etc. A largo plazo, el caudal ecológico tiene que ser con la función

del recurso para mantener el hábitat para los peces. En la literatura hay ejemplos usados de valoración contingente, precios hedónicos y costo de viaje para valorar el caudal ecológico.

Un ejemplo hipotético pudiera ser valorar la recreación en un lago cuando su nivel está a 60 m (volumen total de $600 \times 10^6 \text{ m}^3$), lo cual permite pasear sin inconveniente en bote, esquiar, etc, y cuando está a 45 m (volumen total de $450 \times 10^6 \text{ m}^3$). Haciendo el supuesto de que la gente va exclusivamente al Lago por estas actividades, se usó el método de costo de viaje para valorar la diferencia debida al cambio de caudal que ingresa al lago.

Para tal fin se colocó el lago como un epicentro al cual lo visitan personas de cuatro zonas: 0, 1, 2 y 3. Las distancias ida y vuelta equivalentes son para las zonas arriba mencionadas: 0, 20, 40, 80 Km respectivamente y los tiempos para recorrerlas 0,30, 60 y 120 minutos respectivamente. El costo unitario de transporte es de US \$ 0,30/Km y el del tiempo US \$ 0,15/minutos. La Tabla 5 presenta los datos de visita por zona del lago.

Tabla 5. Datos por visita por zona al lago

Zona	Total visitas/año		Población Zona	Visitas/1000 habitantes	
	Nivel 60 m	Nivel 45 m		Nivel 60 m	Nivel 45 m
0	400	300	1000	400	300
1	400	200	2000	200	100
2	400	200	4000	100	50
3	400	200	8000	50	25
Total	1600	900			

La Tabla 6 muestra los costos de viaje por visita

Tabla 6. Costo de viaje por visita

Zona	Distancia Ida y vuelta (Km)	Tiempo Ida y vuelta (minutos)	Costo de la distancia (US\$ 0,3/km)	Costo del tiempo (US\$ 0,15/min)	Costo de viaje por visita (US\$)
0	0	0	0	0	0
1	20	30	6	4,5	10,5
2	40	60	12	9	21
3	80	120	24	18	42

Realizando la regresión entre el número de visitas/1000 habitante y el costo de viaje, resulta las siguientes ecuaciones para los dos escenarios.

$$\text{Nivel 60m ; número de visitas /1000} = 330 - 7,755 \text{ Costo de viaje } R^2 = 0,81 \quad [42]$$

$$\text{Nivel 45m ; número de visitas /1000} = 225 - 5,782 \text{ Costo de viaje } R^2 = 0,69 \quad [43]$$

Calcular la curva de demanda asumiendo incremento de los costos de US \$ 10 para ambos niveles. La tabla 7 lo presenta para el 1^{er} incremento

Tabla 7. Cálculo número de visitas cuando hay un incremento de US \$ 10 (nivel del lago de 60m)

Zona	Costo de Viaje + incremento de US\$ 10	Visitas /1000 hab.	Población	Visitas Total
0	10,0	252	1000	252
1	20,5	171	2000	342
2	31	90	4000	360
3	52	0	8000	0
Total				954

La Tabla 8 presenta el total de visitas para los incrementos de US \$ 20, 30, 40 y 50

Tabla 8. Total visitas para incremento de US \$ 20, 30, 40, 50. (nivel del lago de 60m)

Incremento (US \$)	Total Visitas
20	409
30	129
40	20
50	0

La Tabla 9. muestra los datos de la curva de demanda para el nivel de 60m.

Tabla 9. Curva de demanda para nivel de 60m

Costo (US \$ / visita)	Total Visitas
0	1600
10	954
20	409
30	129
40	20
50	0

La ecuación de esta curva de demanda es:

$$\text{Costo(US\$)} = 38,09 - 0,027 \text{ visitas} \quad R^2 = 0,89 \quad [44]$$

El área bajo la curva proporcionará el excedente al consumidor o el valor económico total para el nivel de 60m. Esta área es la integral de la ecuación anterior, cuyo resultado es:

$$\int_0^{1600} 39,09X - \frac{0,027 X^2}{2} = \text{US \$ } 27984 \quad [45]$$

Para el caso del otro nivel, se procede igual, por lo tanto se debe calcular en primera instancia la curva de demanda para los mismos incrementos usados para el nivel de 60m. La tabla 10, muestra el cálculo de número de vistas para un incremento de US \$ 10.

Tabla 10. Cálculo número de visitas cuando hay un incremento de los costos de US \$ 10 (nivel del lago de 45m)

Zona	Costo de viaje + incremento de US \$ 10	Visitas/1000 Habitantes	Población	Visitas Total
0	10	167	1000	167
1	20,5	107	2000	214
2	31	46	4000	184
3	52	0	8000	0
Total				565

La tabla 11, muestra el total de visitas para los incrementos de US \$ 20, 30 y 40.

Tabla 11. Total de visitas para un incrementos de US \$ 20,30, y 39 (nivel del lago 45 m)

Incremento US \$	Total visitas
20	207
30	52
39	0

La tabla 12, muestra los datos para la curva de demanda del nivel de 45m.

Tabla 12. Curva de demanda (Nivel 45m).

Costo (US \$ / visita)	Total visita
0	900
10	565
20	207
30	52
39	0

La ecuación de la curva es:

$$\text{Costo (US \$ / visita)} = 33,337 - 0,0393 \text{ visitas} \quad R^2 = 0,93 \quad [46]$$

El área bajo la curva representa el excedente al consumidor, o sea el valor del lago cuando el nivel está a 45m. El resultado es:

$$\int_0^{900} 33,337X - \frac{0,0393X^2}{2} = \text{US \$ 14087} \quad [47]$$

La diferencia entre el valor del lago para los dos niveles es US \$ (27984 – 14087) = US \$ 13897. Tal valor quiere decir que el lago pierde valor cuando cambia el nivel de 60m a 45m. Un supuesto del valor del agua para el cambio sería el cociente entre US \$ 13987 y $150 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($600 \times 10^6 - 450 \times 10^6 \text{ m}^3$), lo cual resulta en $9,26 \times 10^{-3}$ centavos de dólar por m^3 de agua. El valor es pequeño pues sólo se evalúa la recreación, sin incluir los otros valores del agua del lago.

5.3.2. El valor del agua representada por los beneficios de reducción de los riesgos de enfermedades transmitidas por el agua.

El método de valoración contingente, el de daños evitados, el costo de relocalización y el del costo de enfermedades son de los métodos más usados para calcular los beneficios de reducir el riesgo de enfermedades transmitidas por agua. El método de los costos de daños evitados son los costos de las acciones que toman las personas para evitar los daños. Langhland y otros (1996), citado por Young⁽¹⁾ calculó el costo de prevenir enfermedades en giardia usando este método. Cuando la gente compra agua mineral, hierve el agua, añade cloro, etc., incurre en costos que pueden representar un valor mínimo del beneficio de prevenir las enfermedades.

El método de costos de enfermedades calcula el valor del riesgo de las enfermedades transmitidas por agua a través del costo del tratamiento de las enfermedades y de la pérdida de salario por no asistir al trabajo. Un ejemplo hipotético de aplicación es:

Un estudio epidemiológico realizado en un área urbana reveló que había un incremento de las enfermedades transmitidas por agua (amibiasis) como consecuencia del incremento de unidades de contaminantes en el agua. Estas enfermedades afectan primordialmente a niños menores de 5 años. El estudio indicó que parece que existe una relación entre el número de casos de amibiasis y las unidades de contaminantes en el agua. La relación de los costos lo presenta la tabla 13.

Tabla 13. Número de casos de amibiasis y unidades de contaminantes en el agua.

Número de casos / 1000 niños / año	Unidades de contaminantes en el agua
0	20
1	50
2	125
3	150
4	170
4	185
3	130
5	200
6	225
7	250
5	195
6	230
5	197
3	148
1	40

Los casos de amibiasis no son mortales. La población menor de 5 años para la época del estudio es de 350.000 infantes.

Los costos de amibiasis por caso son:

Costo de hospitalización	US \$ 100
Costo de medicinas	US \$ 50
Costos de honorarios médicos	US \$ 70
Costos por no asistir al trabajo (cuidador del niño)	US \$ 80
Costo Total por caso:	US \$ 300

En orden de evitar el problema, el municipio planea reducir la cantidad de contaminantes en el agua de 200 unidades a 50 unidades mediante un sistema de tratamiento. Estimar el beneficio de dicha planta.

SOLUCIÓN:

- En primer lugar supóngase que la relación entre el número de casos de enfermedades y las unidades de contaminantes es lineal (deben realizarse distintas relaciones para ver las que mejor se ajustan). Para tal fin resulta una ecuación:

$$\text{Número de casos} / 1000 \text{ niños} / \text{año} = -0,725 + 2,846 \times 10^{-2} \text{ unidades de contaminantes} \quad R^2 = 0,96$$

[48]

- Calcular el número de casos cuando existen 200 unidades de contaminantes.
5 casos / 1000 habitante / año.
- Calcular el número de casos cuando existen 50 unidades de contaminante.
1 caso / 1000 habitante / año.
- Beneficio del sistema de tratamiento.
4 casos / 1000 habitante / año.
- Número de casos totales reducidos al año.
 $1400 \text{ casos} ; \left(\frac{4 \times 35000}{1000} \right)$
- Valor total del beneficio.
US \$ 420.000 / año (1400 x 300)

El valor pudiera ser un estimado del beneficio de reducir la contaminación del río de 200 unidades a 50 unidades en el agua.

5.3.3 El valor de los beneficios de la reducción de los riesgos de inundaciones.

La técnica principal usada para estimar los beneficios de reducir los riesgos de inundaciones es el método de los daños evitados en las propiedades. El costo de reemplazar y reparar a las

propiedades y otras estructuras, con o sin el evento de inundación, es estimado para cada nivel de flujo del río. El valor estimado anual del beneficio para un nivel de flujo dado es la diferencia esperada (probabilidad ponderada) entre los costos de reparación sin y con el proyecto o política de control de inundaciones. Cada flujo es ponderado por su probabilidad de ocurrencia y los beneficios sobre todo los flujos es sumado para estimar los beneficios esperados para cada año.

Un método alternativo para estimar el valor de los daños causados por las inundaciones puede ser el de los precios hedónicos. El ejemplo a continuación muestra su aplicación.

5.3.3.1. Aplicación del método de los precios hedónicos para valorar el daño causado por las inundaciones.

Asuma que se tienen los datos del valor de la propiedad, la superficie de construcción, la edad, el tamaño del garaje, el tamaño del jardín y el área inundada de las viviendas ubicadas en una zona de inundación. La tabla 14 muestra los datos.

Tabla 14. Precio de las viviendas y sus atributos, incluyendo el área inundada.

Precios de las viviendas US \$	Superficie de construcción (S) m²	Edad (E) Años	Garaje (G) m²	Jardín (J) m²	Área inundada (Z) m²
112000	36	14	0	45	55
142000	40	9	13	0	50
116000	41	11	0	30	50
114000	41	13	0	0	30
112000	48	14	0	60	95
152000	48	10	23	0	75
112000	49	10	0	0	90
90000	50	25	0	0	85
122000	50	13	0	0	45
132000	53	14	0	0	35
155000	53	24	22	40	75
120000	53	12	0	0	35
184000	59	13	15	50	75
107000	60	20	0	0	70
148000	63	11	0	0	55
164000	64	12	0	40	40
165000	67	24	13	50	75
144000	68	22	13	0	80
185000	68	11	0	30	40
198000	74	21	18	35	35
196000	76	10	19	30	100
145000	81	24	0	30	40
183000	87	20	15	0	30
171000	87	24	15	0	85
200000	88	25	20	0	45

La regresión resultante es:

$$P_v = -371636 + 88959 \ln S + 23260 \ln(30 - E) + 2126G + 402J + 1872(\ln 120 - Z) \quad [49]$$

P_v se refiere al precio de la vivienda. Este se observa que se incrementa con la superficie de construcción, el tamaño del garaje y el jardín y disminuye con respecto a la edad de la vivienda y el área inundada. Si se asume que todas las características de la vivienda a excepción del área inundada se mantiene constante, se puede calcular como varía el precio de la vivienda en función del área inundada de la misma. Así se tienen los resultados que están en tabla 15.

Tabla 15. Cambio del precio de la vivienda en función del área inundada.

P_v (US \$)	Área inundada (m²)
8962	0
-9758	10
-28478	20
-47197	30
-65917	40
-84638	50
-103358	60
-122078	70
-140798	80
-159517	90
-178238	100

En este sentido, se observa que si se hace una obra de control de inundaciones que reduce el área inundada de 100 a 50 m², entonces se obtendrá un cambio de precio desde US \$ -178.238 a -4638.

5.3.3.2. Aplicación del método de valoración contingente para valorar los beneficios de la prevención de inundaciones.

El método de valoración contingente puede ser aplicado para valorar la DAP de las personas para evitar que las inundaciones le lleguen a determinada área de sus casas.

Asuma que se aplicó el método, tipo referéndum, para estimar la DAP anual, como un impuesto, por las personas de un área urbana, para evitar que se les inundara el jardín de sus casa. La muestra se realizó para una población de 100.000 casa, con un número de muestra de 1500 casas. Los resultados lo presenta la tabla 16.

Tabla 16. Resultados de aplicación del método de valoración contingente.

Oferta US \$	Respuestas		Sin respuestas
	Si	No	
20	180	68	52
100	148	104	48
500	65	182	53
1500	43	194	63
5000	13	224	63

Para calcular el valor medio de la DAP, en el intervalo bajo, se usó el método no paramétrico que asume que la DAP esperada viene de multiplicar la probabilidad de las respuestas NO por el monto propuesto a cada encuestado. Para el intervalo bajo se asume que el primer monto es US \$ 0 y el último mayor de US \$ 5000.

Los datos para una hoja de cálculo se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Cálculo de la disposición media a pagar, intervalo bajo, método no paramétrico.

Columna Fila	A	B	C	D	E	F
1	Monto b_j	Total de respuestas NO	Total de N° de casos	$F_j = NO_j / \text{total}$	$P_j = F_j - F_{j-1}$	Media
2	0	Sin inform.	Ninguno	0,00	Sin inform.	-
3	20	68	248	$B_3/C_3 = 0,274$	$D_3 - D_2 = 0,274$	$E_3 \times A_2 = 0,00$
4	100	104	252	$B_4/C_4 = 0,413$	$D_4 - D_3 = 0,139$	$E_4 \times A_3 = 2,78$
5	500	182	247	$B_5/C_5 = 0,737$	$D_5 - D_4 = 0,324$	$E_5 \times A_4 = 32,4$
6	1500	194	237	$B_6/C_6 = 0,819$	$D_6 - D_5 = 0,082$	$E_6 \times A_5 = 41$
7	5000	224	237	$B_7/C_7 = 0,945$	$D_7 - D_6 = 0,126$	$E_7 \times A_6 = 189$
8	>5000	Sin inform.	Ninguno	1,00	$D_8 - D_7 = 0,055$	$E_8 \times A_7 = 275$
						$\Sigma = 540,18$

El beneficio total estimado será la multiplicación del valor medio obtenido (US \$ 540,18/casa) multiplicado por la población relevante (100.000 casas), US \$ 54,02 x 10⁶ anual. Si se conoce el volumen de agua en exceso que causa dicha inundación, él mismo puede usarse para estimar un valor por m³ de agua que causa el daño.

BIBLIOGRAFÍA

1. Young, R. 1996. *Measuring economic benefits for water investments and policies*. The World Bank.
2. Pérez, J. A. 1999. *Aspectos económicos de los instrumentos de política ambiental para el aprovechamiento y control de la contaminación de los recursos hídricos en Venezuela*. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
3. WCPA. 1998. *Economic values of protected areas*. Guidelines for protected area managers. Best Practice Protected Area Guidelines Series No 2. The World Conservation Union.
4. Bishop, R.C. y A. Heberlein. 1979. *Measuring values of extra market goods: are indirect measures biased?* American Journal of Agricultural Economic. 61 (5).
5. Caballer, V. Y Guadalajara, N. 1989. *El costo del agua elevada en los regadíos Valencianos*. Jornadas El Agua, factor de desarrollo Valenciano. El agua en la comunidad Valenciana.
6. De Mastro, G. 1993. *Risultati delle prove irrigue in Puglia*. Rev. Agricultura Ricerca No 143.
7. FAO. 1987. Water quality in agriculture. Irrigation and drainage paper No 29. United Nations.
8. Renzetti, S. 1992. Estimating the structure of industrial water demands. The case of Canadian Manufacturing. Land Economics. 68 (4)
9. Albery, A.C. 1968. *Forecasting demand for instream uses*. In W.R.D. Sewell, B.T. Bower, et. Al., Forecasting the demand for water. Department of engineering, mines, and resources, Ottawa, Canada.
10. McKean, J.R.; R. J. Taylor y R. A. Young. 1996. *Estimating residential water demand in Colorado under alternate price specifications*. Colorado State University.
11. Loomis, J.B; M. Hanemann; B. Kanninen y T. Wegge. 1991. *Willingness to pay to protect wetland and reduce wildlife contamination from agricultural drainage*. In A. Dinar y D. Zilberman, eds. The economics and management of water and drainage in agriculture, Boston, Kluwer Academic Publishers.