



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Precio Ecológico del agua: Un enfoque Econofísico

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

(Recursos Hídricos y Ambientales)

Presenta

Claudia Ivette Gaona Salado

Dirigida por: **Dra. Klavdia Oleschko Lutkova**

Santiago de Querétaro, Querétaro
Noviembre de 2008

PRECIO ECOLÓGICO DEL AGUA: UN ENFOQUE ECONOFÍSICO

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias
(Recursos Hídricos y Ambiental)

Presenta:

Claudia Ivette Gaona Salado

Dirigido por:

Dra. Klavdia Oleschko Lutkova

SINODALES

Dra. Klavdia Oleschko Lutkova
Presidente



Firma

Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos
Secretario



Firma

Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco
Vocal



Firma

Dr. Eduardo Castaño Tostado
Suplente




Firma

Dr. Carlos Fuentes Ruiz
Suplente



Firma

Dr. Gilberto Herrera Ruiz
Director de la Facultad



Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y Posgrado



Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Noviembre, 2008
México

RESUMEN

La urgente necesidad de definir el precio del agua (por lo menos ecológico) se deriva del cada vez más obvio escaseamiento de este bien. La naturaleza física anómala del agua y el complejo comportamiento del mercado de los recursos hídricos deben guiar las inversiones del Estado así como del sector privado, lo cual no ocurre hasta la fecha respecto al manejo del agua. El propósito de este trabajo es definir el precio ecológico del agua (PREDA) y diseñar un modelo probabilístico del tipo Pareto para su medición. Las variables básicas de entrada al modelo se seleccionaron con base en una amplia revisión bibliográfica de las investigaciones de punta sobre el tema que se realizan en áreas de Ecología, Economía y Econofísica. La información multiescalar y polifacética sobre los atributos del agua en el ámbito ecológico, físico, ecológico y social se integra al PREDA en forma de series de tiempo. El uso sustentable del agua depende de la conceptualización de su precio/valor en términos integrales y adimensionales por lo cual se buscan las medidas universales extraíbles de los bancos de datos de los atributos del agua. En el presente estudio se seleccionaron dos de estas variables: la rugosidad, medida vía el exponente de Hurst, y la volatilidad, como una variable que cuantifica las oscilaciones de las series de tiempo de los atributos básicos del agua en el espacio y tiempo.

Palabras clave: Precio ecológico del agua, Econofísica, leyes de potencia, sistemas complejos, volatilidad

SUMMARY

The urgent need to define the price of water (at least ecological) stems of increasingly shortage of this good. The physical anomalous nature of water and the complex behavior of water market must guide the investments of the State as well as of the private sector, which does not happen up to the date with regard to water resources management. The purpose of this work is to define the ecological price of water (PREDA) and designs a probabilistic model of the type Pareto for his measurement. The main variables of entry to the model selected with base in a wide bibliographical review of the top researches on the topic that is realized in areas of Ecology, Economy and Econophysic. Multiscale and versatile information on the water attributes in the ecological, physical, ecological and social areas joins to the PREDA in the shape of series of time. The sustainable water use depends on the conceptualization of his price/value in integral and adimensional terms by which there are looked the universal measures of the data set of the water attributes. In the present study there were selected two of these variables: the ruggedness, measured by the Hurst exponent, and the volatility, as a variable that quantifies time series fluctuations of the basic water attributes in the space and time.

Key words: Ecological price of water, Econophysic, power laws, complex systems, volatility

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a la Universidad Autónoma de Querétaro haber albergado mis estudios de posgrado en su División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Asimismo hago extensivo este agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) que es la fuente del financiamiento de este trabajo de investigación y quien apoyó mis estudios.

Deseo expresar mi agradecimiento, admiración y respeto hacia la Dra. Klavdia Oleschko, asesora de este trabajo, quien empeñó con generosidad toda su guía académica, así como su infinita paciencia, para que esta investigación llegase a feliz término. De igual forma le agradezco todo aprendizaje y apoyo inigualables que me brindó bajo cualquier circunstancia y el gusto por la Geometría Fractal.

Al Dr. Eusebio Jr. Ventura le agradezco todo el apoyo para la conclusión de este trabajo, sus valiosos comentarios y en mi formación académica.

Agradezco al Dr. Gilberto Herrera Ruiz por todo el apoyo recibido en todas las etapas contenidas en mis estudios de maestría.

Quisiera expresar mi agradecimiento al Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco por sus comentarios y recomendaciones hechas para la elaboración de este estudio.

Al Dr. Eduardo Castaño Tostado por permitirme asistir a su clase, la cual representó un apoyo en la realización de la tesis y por sus comentarios.

Agradezco, de igual forma, al Dr. Carlos Fuentes por el apoyo y dedicación en mi formación como profesional, así como por la revisión y comentarios hechos a este trabajo.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Aspectos teóricos sobre el valor del agua	4
2.1.1 Atributos del agua	5
2.1.2 Atributos ambientales	5
2.1.3 Atributos físicos	8
2.1.4 Atributos sociales	10
2.1.5 Atributos económicos	11
2.1 El concepto de valor y su medida	14
2.2.1. El significado de valor y valoración	14
2.2.2. El valor económico y la medida de valor	15
2.2.2.1. Teoría objetiva del valor: Economía Clásica	16
2.2.2.1. 1. La teoría del valor-precio de Adam Smith basada en los costos de producción	17
2.2.2.1.2. La teoría del valor-precio trabajo de David Ricardo	18
2.2.2.1. 3. La teoría del valor de John Stuart Mill	21
2.2.2.1. 4. El trabajo socialmente necesario de Karl Marx	23
2.2.2.1. 5. Neo-Ricardianos: Piero Sraffa	25
2.2.2.2. Teoría subjetiva del valor: Economía Neoclásica	26
2.2.2.3. Métodos de valoración no mercantil	29
2.2.2.3.1. Análisis costo-beneficio	32
2.2.2.3.2. Métodos de preferencias reveladas	34
2.2.2.3.2. 1. Método de precio hedónico	35
2.2.2.3.2. 2. Método del costo de viaje	38
2.2.2.3.2. 3. Método de costo de remplazo	40
2.2.2.3.2. 4. Enfoque Ingreso Neto del factor	41
2.2.2.3.3. Métodos de preferencia declarada	41
2.2.2.3.3. 1. Método de valoración contingente	41
2.2.2.3.3. 2. Modelos de elección	42

2.2.3. Valor ecológico	43
2.2.3.1. Valoración ecológica: Teoría del valor energía	44
2.2.3.2. Valoración bajo incertidumbre e irreversibilidad	45
2.2.4. El valor del agua como un sistema complejo	48
III. OBJETIVOS Y HIPOTESIS	51
3.1. Objetivo General:	51
Objetivos específicos:	51
Hipótesis General:	52
3.2.1. Hipótesis específicas:	52
IV. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO	54
4.1. Series de tiempo	54
4.2. Series de tiempo vistas como procesos estocásticos	57
4.3. Elementos de la teoría de probabilidades	59
4.3.1 Histograma	59
4.3.2. Función de densidad de probabilidades	60
4.3.3. Medidas de tendencia central	63
4.3.4 Momentos centrales	65
4. 4. Análisis del grado de aleatoriedad (rugosidad) de las series de tiempo	66
4.5. Volatilidad	69
4.6. Grado de Complejidad	70
V. DISCUSIÓN Y RESULTADOS	73
CONCLUSIONES Y FUTURO TRABAJO	81
BIBLIOGRAFÍA	83
APENDICE	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Clasificación de los bienes y servicios proporcionados por el agua de acuerdo a su uso.	12
Tabla 5.1.	Volatilidad histórica para un $\Delta t=T=5$ años y un $\Delta t=T=1$ año de las cuotas para los distritos de riego por entidad federativa.	75
Tabla 5.2.	Descriptores estadísticos de las cuotas para los distritos de riego por entidad federativa, periodo 2003-2007	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Figura 2.1. El precio P_0 refleja que en la cantidad Q_0 la utilidad marginal del bien Q es igual a la cantidad que están dispuestos a pagar por adquirir ese bien.	29
Figura 2.2.	Relaciones esenciales entre diferentes factores concernientes a los mercados del agua.	30
Figura 2.3.	Valor económico total del agua.	31
Figura 2.4.	Selección del nivel óptimo del uso del agua por medio del análisis de Costo-Beneficio.	33
Figura 4.1.	Histograma.	60
Figura 4.2.	Función de distribución y función acumulativa normal.	62
Figura 4.3.	Tipos de distribución de acuerdo al número de modas que presentan	64
Figura 4.4.	(a) Distribución platocúrtica, (b) distribución mesocúrtica, (c) distribución leptocúrtica.	66
Figura 5.1.	Sistema de cuotas para los distritos de riego de los estados seleccionados de 2003 a 2007.	74
Figura 5.2.	Volatilidad histórica de las cuotas por distrito de riego para las entidades federativas de la República Mexicana seleccionadas, periodo 2003-2007.	76
Figura 5.3.	Volatilidad anual de las cuotas por distrito de riego para los estados de la República Mexicana, periodo 2003-2007.	76
Figura 5.4.	Correlación de los descriptores estadísticos para el estado de Chiapas y Colima.	78
Figura 5.5.	Correlación de los descriptores estadísticos para el estado de Chiapas e Hidalgo.	79
Figura 5.6.	Correlación entre los indicadores de volatilidad y el exponente de Hurst ($H_{R/S}$) para Jalisco, Michoacán, Sinaloa y Tamaulipas.	80

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo y gestión de los recursos hídricos se ha vuelto un prefactor del crecimiento económico, y desarrollo sustentable así como del combate de la pobreza. Estos recursos son fundamentales para sostener la producción en los tres sectores de la economía, patrones de consumo, la biodiversidad y la conservación de los ecosistemas (Xepapadeas and Koundori, 2004).

En las últimas décadas en la mayoría de los países industrializados se ha incrementado de un modo significativo la inversión en infraestructura hidráulica, en instituciones y en capacidad de gestión (UNESO, 2006). Sin embargo, en México, al igual que en muchos de los países en desarrollo, el crecimiento económico no ha tomado en cuenta las señales de creciente carestía del agua. La concentración de la población y la actividad económica han creado zonas de escasez preocupante no sólo en las regiones de baja precipitación pluvial sino también en zonas donde eso hasta hace poco no se percibía como un problema, pero que se ha visualizado al comenzar el crecimiento urbano o el establecimiento de agricultura de riego (De Janvry, A., 1994). Los problemas de escasez de agua en México se han agravado en las últimas décadas, lo cual genera una tensión insustentable en la competencia por el recurso. Una de las razones de esto es que las señales de precio que reflejan la escasez de los bienes y guían las inversiones en el sector privado usualmente están distorsionadas o ausentes en la toma de decisiones respecto al agua.

En el S. XVIII y XIX los economistas clásicos consideraron a los factores productivos como limitantes de la producción, en el sentido que, eran éstos la fuente de valor (de cambio). El reconocimiento explícito del límite al crecimiento económico en función de los factores productivos es expuesto por John Stuar Mill (1978), al considerar que la economía tendía a un estado estacionario. Incluso

Marx, fue explícito en señalar la naturaleza como la fuente de los valores de uso y por tanto de la riqueza (Marx, 1973). Sin embargo, el factor de los recursos naturales empezó a perder peso en el análisis económico del valor con respecto a los factores trabajo y capital ya con los clásicos, pero el desentendimiento definitivo de la consideración de los límites físicos del crecimiento económico y de la naturaleza como fuente de valor tiene lugar a fines del siglo XIX e inicios del siglo XX con la consolidación de la economía neoclásica como teoría dominante del pensamiento económico.

A partir de los años setenta, ante la crisis del petróleo, y ante los resultados presentados sobre las tendencias y problemas económicos mundiales tales como el Informe Meadows: *Los Límites del Crecimiento* (Meadows et al., 1972), realizado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts y publicado en 1972, y la Conferencia de Estocolmo llevada a cabo en este mismo año, se haría evidente la falta de un marco analítico adecuado en la teoría económica para incorporar el deterioro ecológico en la valoración de los recursos naturales, en especial del agua. A partir de esta década, enfoques como la economía ambiental y la economía ecológica han tratado de conectar el sistema económico con el sistema ecológico que lo sustenta para analizar el valor de los recursos naturales en el análisis del valor de estos. La primera, usa el marco conceptual de la teoría neoclásica para valorar los costos y beneficios que escapan al mercado (externalidades ambientales) para su incorporación en la contabilidad económica. Por su parte, la economía ecológica cuestiona los fundamentos y axiomas que soportan al pensamiento neoclásico y trata de desarrollar un nuevo marco conceptual y metodológico de análisis que refleje e incorpore los costos físicos de la actividad económica.

A la par de estos enfoques, como una respuesta y en contraposición al pensamiento económico dominante, en las Ciencias Naturales han surgido numerosas investigaciones basadas en la Termodinámica que tratan de explicar el valor de los recursos naturales derivándolo de la energía incorporada.

En el mismo tenor, el propósito de este trabajo fue definir el precio ecológico del agua (PREDA) y el diseño de un modelo probabilístico del tipo Pareto para su medición. Las variables básicas para el modelo del PREDA se seleccionaron de la revisión bibliográfica de las investigaciones de punta sobre el tema en áreas de Economía, Ecología, Econofísica y Estadística.

La información multiescalar y polifacética de los atributos del agua como un recurso natural complejo y no renovable se integró en el modelo del PREDA. Se tomó en cuenta que el uso sustentable del agua depende de la conceptualización de su precio/valor en términos integrales y adimensionales.

El sentido que animó el estudio del agua no es normativo. A pesar de la importancia que reviste el análisis del precio del agua en términos de justicia social, el interés que se planteó aquí fue el entender los factores que determinan el precio/valor del agua por la importancia que esta reviste en cuestiones de desarrollo económico sustentable y estabilidad social.

La relevancia del tema trae consigo importantes complicaciones en su estudio. Por lo anterior, el trabajo expuesto a continuación tiene limitantes. Una de ellas relacionada con la revisión bibliográfica. A pesar de la enorme y variada literatura existente, el trabajo se reduce a la exposición de la bibliografía más destacada sobre el tema. Una ausencia importante, en este sentido, que debe ser reconocida, es toda aquella vinculada con las cuestiones legales y jurídicas relacionadas con los mercados del agua. Sin embargo, consideramos que esta primera aproximación gruesa al tema puede proveer de información que enriquezca el debate en torno de la planeación del uso de este recurso en sus diferentes aspectos, así como la prioridad que se le debe dar al uso del agua de acuerdo a su disponibilidad.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos teóricos sobre el valor del agua

En la actualidad, entre los expertos, existe un amplio consenso que el tema del agua no está cubierto de un modo eficiente ni desde el punto de vista teórico, ni del aplicado. Esta falta del conocimiento sobre la naturaleza y comportamiento de este recurso natural vital se deriva en una crisis insostenible del manejo de los recursos hídricos. Para algunos antropólogos, economistas y ecologistas, entre otros, la percepción es que la ciencia económica es parte del problema en el sentido que los conceptos económicos empleados para la asignación del recurso son inadecuados. Lo anterior se debe a la sensación de que el agua tiene un valor que la economía, hasta la fecha, falla al calcular. El valor de los recursos hídricos reducido al precio relacionado con la estética, la existencia humana, o los procesos ecológicos a largo plazo, es inapropiado y por lo tanto no recomendable.

De ahí que la interrogante es si el agua debe ser analizada con base en la estructura conceptual y metodológica de la economía de la misma forma que cualquier otro bien. Algunos autores, sostienen que el agua es un bien económico y, como tal, debe ser estudiado indistintamente a su naturaleza e igual, por ejemplo, que el trigo o los textiles. En el cuarto principio de la Declaración de Dublín, adoptado en la Conferencia internacional sobre el Agua y Medio Ambiente celebrada en esta capital (1992) se estableció que el “agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocerse como un bien económico”. En el mismo sentido, Baumann y Boland (1998) escribieron que el agua no difiere de cualquier otro bien económico tal como la comida, el vestido, o la habitación, por lo cual obedece a las leyes *normales* de economía.

Por otra parte, el primer principio de las Declaraciones de Río (1992) que complementó el cuarto Principio de Dublín sugiere, implícitamente, que el agua es un bien social, por lo tanto la gente tiene derecho a al menos ciertos niveles del agua, especialmente bajo la responsabilidad de sus respectivos gobiernos (Dinar y Saleth, 2005). Barlow y Clarke (2002) consideran que el agua dulce pertenece a la Tierra y a todas las especies y, por consiguiente, no debe ser tratada como un bien privado y, por ende, ser comprado, vendido o comercializado con propósitos lucrativos. Los autores citados afirman que, la oferta de agua dulce global es un fideicomiso público, y un derecho humano fundamental, por lo cual es una responsabilidad colectiva. Así mismo, P. Arrojo (1999) sugiere que el agua debía ser conceptualizada como un “activo eco-social”, ya que, a diferencia de los bienes económicos puros tal como los automóviles, además de sus funciones como un insumo productivo, posee funciones sociales y ambientales.

2.1.1. Atributos del agua

La controversia referente a la valoración de los recursos hídricos, arriba subrayada, surge al tomar en cuenta las características específicas (conocidas bajo el término “*anómalas*”) que posee el agua y que la hacen diferente a otros bienes económicos. En este sentido, el objetivo de este apartado es seleccionar los atributos ambientales, físicos, sociales y económicos que hacen del agua un bien difícil de valorar.

2.1.1.1. Atributos ambientales

Los ecosistemas acuáticos tienen las funciones de hábitat, regulación, producción e información (de Groot, 2002), que difícilmente pueden ser expresados a través de su precio. Algunos ejemplos de las funciones ecológicas que proporcionan los recursos hídricos son el suministro de agua (cantidad y calidad del agua), el control natural de inundaciones, la capacidad de dilución, el transporte, el hábitat para la

flora y fauna acuáticas, la provisión de nutrientes al suelo, producción de alimentos, actividades de recreación y bancos de información para el desarrollo científico (WWDR-IUCN, 2000).

A escala local, los atributos ambientales del agua ya están definidos en distintas áreas geográficas y son tomados en cuenta por los Comites de los Parques y Ambientes, dentro del marco de los consejos del tipo “*Decision Advice and Other Information*”. Por ejemplo, en Toronto, Canadá, el diseño del HtO Parque (2008), se realizó tomando en cuenta las siguientes iniciativas (llamadas “Green Initiatives”), con un precio definido para cada una de ellas:.

1. **El habitat para peces:** las recomendaciones se encaminaron a mejorar los entornos del fondo de lagos, variando las profundidades y añadiendo los materiales y elementos que aseguran el óptimo habitat y oportunidades para el desarrollo sustentable de peces. El costo estimado de dicha operación es de 60,000.00 dólares.
2. **La recolección del escurimiento** y su dirección hacia las galerías de almacenamiento: devuelvan el agua al suelo vía la percolación. Esta práctica, además de conservar el agua, se ha diseñado para asegurar la salud óptima del suelo. Como resultado de esta práctica pionera, el parque no fue conectado al desagüe municipal, por lo cual el parque no incrementa el volumen de los desolves de la ciudad. El costo aproximado de esta iniciativa es de 32,000.00 dólares canadienses.
3. **Conservación del agua en el parque:** como la fuente primaria se utiliza el agua del lago, cuyo bombeo se realiza directamente del lago al parque, lo cual asegura la reducción del consumo del agua municipal. El costo aproximado de esta práctica para el parque HtO es de 25,000.00 dólares canadienses.

Las iniciativas recomendadas por los consultores del diseño del parque HtO incluyen varios otros conceptos indispensables para un proyecto sustentable del manejo del agua, tales como la construcción de unas islas de bio-mejoramiento y restauración del lago, así como de los paneles solares y turbinas del viento, necesarios para un manejo sustentable de energía, con un precio de 260,000.00 dólares.

En China (Zixun et al., 1999) están preocupados por el acelerado crecimiento de los azolves en los ríos (entre ellos en el río Huaihe), lo cual ocasiona un sin número de problemas ambientales. Con base en los rasgos locales de cada región dada, y tomando en cuenta los rasgos tanto del almacenamiento como del drenaje, se diseñan las prácticas del manejo trans-regional del agua, a partir de las propiedades ambientales de esta última. Los costos elevados de estas operaciones limitan su uso más general.

Según los datos de la Oficina de Estadísticas de Australia (Australian Bureau of Statistics, 2000-2005) los rasgos ambientales del agua en la cuenca de los ríos Murray (2,530 Km.) y Darrling (2,740 Km.) son muy peculiares, lo cual asegura la sobrevivencia de las numerosas especies endémicas de mamíferos, pájaros, peces y otras especies. Ya se han construido los mapas de áreas ocupadas por cada una de ellas, con la idea de conservar las propiedades del agua en las zonas de protección ecológica.

Son numerosos los atributos ambientales locales del agua que se manejan en la distintas investigaciones, acompañados muchos de ellos con los precios de las operaciones correspondientes que aseguran la conservación de cada uno de los atributos. Sin embargo, con el propósito de cumplir con los objetivos de la presente investigación, y tomando en cuenta la casi inexistencia de estos datos a nivel nacional, hemos seleccionado seis siguientes atributos previamente renormalizados, como variables de entrada al modelo de PREDA:

- Precipitación;
- Evaporación ;
- Infiltración y Escurrimiento;
- Sedimentación y Azolves;
- Sólidos Solubles Totales (SST), como indicadores de la calidad del agua;
- pH.

2.1.1.2. Atributos físicos

Algunos investigadores aseguran que debido a la naturaleza física anómala del agua (Stanley et al., 1999) que fluye, se infiltra, se evapora y se transforma del estado líquido al gaseoso o sólido, siempre siguiendo las reglas de los procesos no lineales, resulta difícil o impráctico establecer derechos de propiedad sobre ella, debido a que la misma molécula del agua tiene usos secuenciales (Hanemann, 2006). De acuerdo a la naturaleza compleja de la estructura del agua (no conocida en su totalidad hasta la fecha) es poco probable que ésta sea consumida en su totalidad por un solo usuario, siendo disponible, en principio, para el empleo por otros. El ejemplo más claro de ello se puede encontrar en Agricultura, donde una parte importante del agua utilizada para el riego, se infiltra, se escurre y se transforma a la masa vegetal.

La propiedad física del agua que define las transformaciones arriba especificadas ha sido objeto de estudios detallados del padre de la Econofísica Eugene Stanley y su numeroso grupo internacional de colaboradores (Stanley et al., 2008), llamándose *el polimorfismo* (polyamorphism). Dicha propiedad es básica para los diversos modelos del agua que relacionan los cambios en sus anomalías dinámicas y termodinámicas con el punto crítico de transición de fases líquido-líquido que ocurre a temperaturas bajas. Entre los modelos diseñados se destacan los: 1. TIP5P y ST2, que despliegan la transición de fases líquido-líquido del primer orden a temperaturas bajas; 2. El modelo de Jagla con simetría esférica del potencial de doble escala, que describe la competencia entre las dos estructuras

líquidas en función de las interacciones del tipo atracción – repulsión; 3. El modelo del agua de Hamilton, que desarrolla la idea de dos escalas de longitud/energía; este modelo también despliega la transición de fases del primer orden, del tipo líquido-líquido a temperaturas bajas, siendo útil para la modelación de transición líquido-gas a temperaturas altas. Sin embargo, a pesar de los numerosos estudios realizados por los grupos de investigadores de reconocido prestigio, muchos de los aspectos dinámicos y termodinámicos del agua siguen siendo incógnitos (Kumar et al., 2008).

Son dos los aspectos básicos de las fluctuaciones de los atributos del agua de interés para la presente investigación: la invariancia al escalado (auto-similitud) y universalidad (Stanley et al., 2008), ambos derivados de la física estadística. La Autosimilitud o Invariancia al escalado alude al comportamiento parecido en términos morfológicos o estadísticos (momentos centrales de diferente orden) de los fenómenos analizados a nivel micro macro y mega. En este trabajo, la autosimilitud o la invariancia al escalado hace referencia a la semejanza que existe en el comportamiento de las fluctuaciones de los precios del agua a distancias cortas y largas, así como las oscilaciones de los datos de las variables de interés en el estudio.

La universalidad asegura que los fenómenos físicos son comparables con los económicos, presentando ambos una invariancia al escalado, y esta invariancia es única para economías y fenómenos físicos contrastantes así como para su comportamiento a lo largo de diferentes periodos de tiempo.

La caja de herramientas de la geometría fractal será utilizada para cuantificar la rugosidad y volatilidad de los series del tiempo (Podobnik y Stanley, 2008; Vodenska-Chitkushev et al., 2008) de los atributos físicos del agua que se especifican a continuación.

Son seis los atributos físicos renormalizados del agua y del medio poroso que son variables de entrada al modelo de PREDA:

- Contenido de la humedad gravimétrica;
- Contenido de la humedad volumétrica;
- Permeabilidad;
- Capacidad del almacenamiento;
- Porosidad total del suelo;
- Porosidad diferencial del suelo.

2.2.1.3. Atributos sociales

En el aspecto social, el agua es un bien que es necesario para la vida humana (las Naciones Unidas y la Organización Mundial para la Salud consideran 20 L/d por persona como el nivel mínimo de agua para cubrir las necesidades básicas de bebida y sanidad) y está relacionada íntimamente con el tiempo que disponen las personas, con la salud de la población, educación, y desigualdad de género e indirectamente impactan en la productividad de las personas. En Etiopía, en donde el consumo de agua por persona es de 5 L/d y sin apenas letrinas, lavabos, o lavaderos, los etíopes carecen de costumbres higiénicas, lo cual acarrea enfermedades intestinales y de la piel. En este país donde dos de cada tres personas no tiene acceso al agua potable y las mujeres son encargadas de ir por ella, la distancia a los puntos de abastecimiento agrava el problema de desigualdad. Las mujeres invierten en promedio 5 horas en ir por ella y cuentan con menos tiempo para formarse, realizar otras actividades productivas y por tanto, aspirar a un mejor estatus económico (López, 2006). Como consecuencia de todo lo anterior, los gobiernos intentan ofrecer, al menos, niveles mínimos de servicios de abastecimiento y saneamiento de agua, independientemente de si el costo de tales servicios puede ser cubierto por completo por los usuarios.

Los atributos sociales locales documentados en la literatura relacionados con el nivel de bienestar de la población, el confort, condiciones de equidad y justicia de género, así como con la salud son muy numerosos y diversos, sin embargo, algunos de ellos son de difícil análisis debido a la carencia de estadísticas históricas. En la presente investigación hemos seleccionado cuatro siguientes variables de entrada al modelo PREDA:

- Disponibilidad de agua por habitante.
- Grado de presión del recurso hídrico
- Población que dispone de abastecimiento de agua potable y servicio de saneamiento
- Índice de desarrollo humano

2.1.1.4. Atributos económicos

El agua puede ser considerada como un bien público o como un bien privado. Cuando el agua es consumida en los hogares, en las industrias o en las parcelas, es un bien final privado, pero, cuando el agua es dejada *in situ*, y se usa para la navegación, para actividades recreativas o como hábitats acuáticos, ésta funciona como un bien público (ver Tabla 2.1).

Dado los servicios ambientales proporcionados por el recurso, el agua es considerada un *bien público* que, como tal, se caracteriza por la *no rivalidad en su consumo*, la *no exclusión*, y por la presencia de *externalidades*, todo lo cual desincentiva la inversión del sector privado en el sector del agua.

Un bien público se caracteriza por la no rivalidad porque el consumo que una persona hace de tales bienes o servicios no disminuye el consumo de las demás personas, a diferencia de lo que ocurre con los bienes *privados*, en el que el consumo de una persona necesariamente compite con aquel de otra persona. La segunda característica de un bien público, no exclusión, hace referencia a que los

bienes o servicios no pueden ser disfrutados por un individuo sin que otros también tengan acceso a ellos. En otras palabras, no es posible suministrar el bien a quienes paguen por él y excluir de su disfrute a quienes no lo hagan. Las externalidades son definidas como beneficios o costos, generados como un subproducto de la actividad económica, los cuales no son devengados a los participantes de la actividad (Birol et al., 2006).

Tabla 2.1. Clasificación de los bienes y servicios proporcionados por el agua de acuerdo a su uso

Bienes mercantiles (o privados)		Bienes no mercantiles (o públicos)	
Bienes de producción	Bienes de consumo	Valores de uso	Valores de no uso (valores de existencia y legado)
1. Productores agrícolas ■ Riego de cultivos ■ Acuicultura	1. Suministro residencial del agua	1. Mejorar los efectos beneficiosos ■ Servicios del ecosistema ■ Recreación ■ Estética ■ Hábitat de la fauna y flora	1. Protección del entorno acuático
2. Industrias ribereñas ■ Fabricación ■ Servicios comerciales	2. Saneamiento residencial	2. Servicios del ecosistema ■ Reducción de la contaminación ■ Reducción del riesgo de inundaciones	2. Protección del medio silvestre
3. Industrias fluviales ■ Energía hidráulica ■ Transporte ■ Industrias pesqueras			3. Protección de la biodiversidad y las especies en peligro de extinción

Fuente: UNESCO-WWAP (2006)

Dadas estas características, la provisión de bienes públicos no puede realizarse eficientemente a través del mercado. Puesto que el oferente de este tipo de bienes no puede garantizar que sólo quienes paguen tengan derecho a obtener el bien o servicio, ya que muchas personas no tendrían incentivo alguno para pagar por algo que, de todas formas, estarán en condiciones de disfrutar, es desincentivada la inversión de quien los produce.

Una característica adicional es que el sector del agua es un sector capital intensivo, no sólo si se compara con el sector de la manufactura, sino también respecto de otros servicios públicos, con activos fijos cuya vida útil (depreciación) es muy larga (Massarutto, 2003). De acuerdo con Hanemann (2006), en Estados

Unidos la relación de capital invertido a ingresos en el sector del agua es el doble que en la industria del gas natural y setenta por ciento más elevada que en la industria eléctrica.

Aunado a lo anterior, existen economías de escala en muchos componentes de la oferta de los recursos hídricos, que condicionan al monopolio natural, como es el caso del sector del agua, lo cual complica el análisis de coste-beneficio.

Otra característica particular es la variabilidad e incertidumbre en la oferta del agua en términos de espacio, tiempo y calidad. El agua se distribuye desigualmente en el mundo y aún dentro de países y regiones. Adicionalmente, existe una variación de las lluvias dentro de un año y entre los años. Y la calidad del agua no es la misma en todas las cuencas.

Es importante señalar que, dentro de las complejidades que caracterizan al mercado del agua y dificultan su valoración, está que el precio que los usuarios pagan por el agua sólo refleja, en el mejor de los casos, los costos relacionados con la operación y mantenimiento de la infraestructura de la oferta de agua y no el valor del agua por si misma. Así, en lugares donde el precio del agua es bajo, no siempre corresponde a la abundancia del recurso sino a la baratura de la infraestructura y en algunos casos a subvenciones al consumo.

Los atributos económicos seleccionados en este trabajo como variables de entrada al modelo de PREDA son tres:

- Producto Interno Bruto
- Precio del agua
- Área cultivada

De lo anterior se desprende que, la teoría de dónde se origina el valor, cómo puede ser medido y el objetivo por el cual los recursos hídricos tienen valor, son

cruciales para la asignación de estos recursos. De la conceptualización de valor dependerán los principios rectores para la distribución del recurso.

2.2. El concepto de valor y su medida

El objetivo de este apartado, es hacer una revisión bibliográfica del concepto de valor y las formas de valoración o medidas de valor desde la perspectiva económica y ecológica, además de describir cómo los determinantes del valor y esquemas de valoración han sido aplicados en la asignación de los recursos hídricos.

2.2.1. El significado de valor y valoración

El concepto de valor es importante tanto en los sistemas económicos como en los sistemas ecológicos. Dado que ambos sistemas se caracterizan por redes complejas de componentes bióticos y abióticos relacionados en procesos dinámicos (Limburg, et al. 2002), el estudio de las interrelaciones de sus partes implica hacer comparaciones entre componentes físicos disímiles, lo cual es posible a través del concepto de valor. De ahí que el problema de valoración se base en los factores de peso o conversión que deben ser usados para comparar cosas no conmensurables (Constanza y Neill, 1984) tales como el trigo, los lagos, las aves y los automóviles.

Podemos definir de forma genérica al valor como la contribución de una acción o de un objeto a metas, objetivos o condiciones especificadas por el usuario (Constanza, 2000), y a la valoración como el proceso de expresar un valor para una acción u objeto particular (Farber, et al., 2002).

El concepto de valor tiene una connotación distinta dependiendo del punto de vista económico o ecológico. Desde la perspectiva ecológica el valor de un ecosistema no tiene valor dado que no cumple un fin específico no tiene un sistema de valor (Farber et al. 2002), aunque nosotros le damos un valor a los ecosistemas

porque sus funciones son esenciales para la existencia de la vida humana o lo valoramos por cuestiones culturales o emocionales (UNESCO, 2006). En este sentido el término de *servicios del ecosistema* ha sido acuñado para evidenciar que la estructura y las funciones de los ecosistemas proveen valor a los humanos (Daily, 1997).

La medida del valor dominante en la economía moderna es el precio, dada por la concepción neoclásica. Para los sistemas ecológicos, han sido propuestas medidas alternativas al precio, entre las que destaca el contenido de energía (Odum, 1971, Costanza, 1981)

La valoración económica de los bienes y servicios de los recursos hídricos difiere de aquella hecha desde la perspectiva ecológica. Esta diferencia se deriva de la concepción del valor de estos recursos dentro de cada disciplina.

2.2.2. El valor económico y la medida de valor

La teoría del valor es el centro de toda escuela de pensamiento económico que dirige la asignación de los recursos de usos competitivos y constituye la base de la controversia entre las diversas escuelas, desde la Economía Clásica hasta la Neoclásica (Cole et al. 1991 en: Pateresson, 1998, 2006; Straton, 2006). El concepto de valor en la Economía Clásica es referido al valor de cambio (precio) y está relacionado a la oferta ya que localiza el origen de éste en los factores de producción, mientras que, la economía neoclásica considera que el valor está basado en las preferencias subjetivas (utilidad marginal) de los individuos y puede ser medido a través del precio fijado por el mercado.

En la economía moderna, la concepción dominante de valor es la neoclásica, y la medida de valor (en el margen) de los bienes y servicios que domina es el llamado *precio de mercado*, el cual representa la disposición a pagar por un valor

marginal por parte de los compradores potenciales del bien o servicio (UNESCO-WWAP, 2006), dicho de otra manera, valor de un bien o servicio expresado en términos monetarios, y surge en el mercado como resultante de la interacción de la oferta y la demanda (Samuelson y Nordhaus, 1999). Lo cual, en ocasiones, ha llevado a equiparar el precio con el valor económico. Si ello fuera cierto, sólo los bienes comerciales tendrían valor, mientras que los bienes que no son vendidos en el mercado como los bienes públicos o los recursos naturales carecerían de él (Hanemann, 2006).

2.2.2.1. Teoría objetiva del valor: Economía Clásica

Los clásicos se referían al valor intrínseco el cual puede ser definido en forma general como *“as things that are worth doing, getting, etc., for themselves, for their own sake”* (Collet, 2007). Para ellos, y en especial para Marx, la primera causa del valor económico la producción tiene sólo un ingrediente social universalmente necesario y es el trabajo. El marxista Hunt (1983) escribió “para estar seguro el ambiente natural debe existir para ser transformado - algo no puede ser hecho de nada. Pero decir que la tierra (o los recursos naturales) es un factor que contribuye a la producción en una manera análoga a la contribución de trabajo es vista como una forma de fetichismo en los bienes, en el cual cosas no humanas materiales son dotadas con calidades humanas”. Aunque el sol es esencial para la actividad productiva humana, no se puede hablar del sol como un factor de producción en las mismas condiciones que el trabajo (Judson, 1989).

La economía clásica distingue entre los precios a largo plazo (precio natural) y a corto plazo (precio de mercado). Los precios a largo plazo están basados en las condiciones técnicas de producción, es decir, se determinan por la oferta. Ellos son los centros de gravedad alrededor de los cuales fluctúan los precios a corto plazo, fijados por las fuerzas del mercado, la oferta y la demanda (Lichtenstein, 1983:21). De acuerdo con los clásicos, el precio de mercado es controlado por la oferta y la demanda efectiva de aquellos que están dispuestos a pagar el precio natural. Si la

demanda efectiva excede al precio natural, el incremento acompañado en el pago de los factores atraerá oferentes de factores, la cantidad de productos ofrecida se incrementará, y las tasas y los precios se reducirán a sus niveles naturales (Spiegel, 1983: 250).

2.2.2.1.1. La teoría del valor-precio de Adam Smith basada en los costos de producción

Adam Smith es el primero en distinguir entre el valor y el precio. En el capítulo IV del Libro I de *La riqueza de las Naciones* (1776), Smith señala que el concepto de valor tiene dos usos. En el ejemplo de la paradoja del agua y los diamantes, Smith inicia el pasaje observando que el valor tiene dos significados diferentes, en el que algunas veces expresa la utilidad de un objeto (valor de uso) y otras, el poder de compra (valor de cambio). Por tal, algunos bienes que tienen un elevado valor de uso como el agua tienen un pequeño o nulo valor de cambio, mientras que otros bienes que son caros (elevado valor de cambio) como los diamantes tienen poco o nulo valor de uso (Blaug, 2001; Hanemann, 2006). De lo que concluye que el valor de cambio es el tema adecuado en la investigación del problema de la teoría del valor.

A Smith lo que le interesaba saber es por qué las fluctuaciones en los precios de mercado, determinadas por las fuerzas de oferta y demanda tendían a un precio natural. A lo que Smith se refiere como precio de mercado y precio natural, es lo que ahora conocemos como precio a corto plazo y a largo plazo.

Smith construye un modelo simple, de lo que él llama un *estado primitivo y rudo de la economía*, donde solo usa el factor trabajo para producir bienes, en el que la tierra es gratuita y el capital no existe, para explicar cómo se determinan los precios a largo plazo (el precio natural). En este estado, los precios relativos están regulados por los costos de la mano de obra, advirtiendo que tal teoría sólo es válida en ese estado inicial y que en el mundo real, el valor de cambio no puede ser

determinado sólo por el trabajo gastado en la producción. El valor de un bien es la suma de las cantidades pagadas a todos los factores empleados en su fabricación (trabajo, tierra y capital), por tanto, el precio natural está determinado por los costos de producción expresados en términos monetarios en forma de salarios, renta y beneficios y en donde la demanda no tiene influencia. Implícitamente, Smith está suponiendo rendimientos constantes de la producción, es decir, que el costo unitario de la producción se mantiene constante independientemente del nivel de producción. En este caso, la curva de oferta a largo plazo es horizontal y en el que el nivel de la demanda determina la cantidad producida pero no el precio.

La explicación de Smith sobre la determinación de los precios por los costos monetarios es, sin embargo, una explicación de los precios por los precios. En este sentido, los historiadores económicos tal como Balug (2001) sostienen que la teoría del valor de un bien basada en los costos de producción expuesta por Smith carece de sentido ya que no incluye alguna explicación sobre la forma en la que se determinan los precios de los factores productivos, salarios, renta y beneficio.

2.2.2.1.2. La teoría del valor-precio trabajo de David Ricardo

Mientras que Adam Smith limitó la teoría del valor trabajo a un “estado primitivo y rudo de la sociedad”, David Ricardo sostiene que la teoría del valor basada en el trabajo sí puede explicar las variaciones de los precios en el mundo real de forma más o menos correcta (Blaug, 2001), aunque en su análisis introduce un elemento que le diferencia de Smith: además de las fluctuaciones salariales (costo del trabajo), Ricardo considera las variaciones en el capital invertido (tasa de utilidad del capital).

El problema de valor que le preocupaba a Ricardo consistía en encontrar una unidad de medida invariable ante los cambios en las remuneraciones relativas de los factores (relación capital-trabajo) y debía ser un bien cuyo uso de capital y trabajo fuera constante en ausencia de cambio tecnológico. Ricardo decidió que el

oro y los cereales poseían estas propiedades. Aunque, reconoce que estos bienes no crean valor, podían medirlo.

Si bien la determinación de los precios relativos (el valor de cambio) no era el objetivo principal de Ricardo, sino descubrir las leyes que regulan la distribución, el primer capítulo de los *Principios de Economía Política y Tributación* (1817) está dedicado al valor. Ricardo inicia el capítulo, haciendo, al igual que Smith, la distinción entre valor de uso y valor de cambio y señala la paradoja de valor para aclarar esta división: “El agua y el aire son sumamente útiles; son además indispensables para la existencia; sin embargo, en circunstancias ordinarias, no se puede obtener nada a cambio de ellos. El oro, por el contrario, a pesar de tener poco uso comparado con el aire o el agua, podrá cambiarse por una gran cantidad de otros bienes” (Ricardo, 1971).

De esta paradoja, concluye que la utilidad no es la medida de valor de cambio, aunque es una condición esencial de este. “Si un bien no fuese útil en absoluto – en otras palabras, si no pudiera contribuir de ninguna manera a nuestra gratificación – no tendría valor de cambio, por escaso que pudiera ser, o sea cual fuere la cantidad de trabajo necesaria para producirlo” (Ricardo, 1971). Así, al igual que Smith, toma como punto de partida el valor de cambio. Para él, los bienes que poseen utilidad, obtienen su valor de cambio de dos fuentes: de su escasez y de la cantidad de trabajo requerida para obtenerlos. De ahí que un artículo difícil de producir valdrá siempre más que otro fácilmente producido, aun cuando hubiera un acuerdo en conceder una mayor utilidad al primero. Como ejemplo señala la baratura del hierro con respecto al oro, a pesar de la mayor utilidad de aquel. De acuerdo con lo anterior, para Ricardo, las dificultades inherentes a la producción de un bien constituyen una medida real de su valor. Distingue entre dos clases de bienes, para señalar que, en algunas ocasiones el valor de cierto tipo de bienes, que no están sujetos a reproducción, se deriva exclusivamente de su escasez, tales como las obras de arte, libros y monedas escasas; y aquellos que pueden producirse en mayor cantidad por medio del trabajo. Tras lo que concluye que el

valor no siempre se deriva del tiempo de trabajo necesario en la producción de mercancías. No obstante, después de hacer esta distinción entre bienes escasos y fácilmente producibles, se enfoca a los segundos para explicar el valor de las mercancías y al trabajo como instrumento de valor.

A pesar de aceptar la teoría del valor trabajo por conveniencia en la explicación de su modelo, Ricardo afirma que una teoría sencilla basada solo en los costos de mano de obra, cuando interviene en el proceso productivo el capital, no podrá nunca pronosticar con exactitud los cambios de precios. En este sentido, Ricardo trata de explicar la causa del valor a través de dos elementos. El primero, referido a la medida invariable del valor, la cual es el trabajo presente y pasado necesario para la fabricación de un objeto en condiciones normales de desarrollo de las fuerzas productivas, y el segundo, a los cambios en la tasa de utilidad (Ricardo, 1963). Ricardo se refiere a trabajo pasado al trabajo materializado en maquinaria, herramientas e insumos, esto es, el capital.

Las variaciones del valor, de acuerdo con lo anterior, pueden presentarse por diferencias en el tiempo de trabajo pasado incorporado en las mercancías, por la durabilidad desigual del capital o por las condiciones en el proceso productivo. Ricardo agrupa las objeciones hechas a la teoría del valor trabajo pura en la sección VI bajo el título de “Las proporciones diferentes del capital fijo y circulante”, es decir, entre aquel que no sufre alteraciones notables durante el proceso productivo tal como la maquinaria y herramientas, y el cual es consumido en su totalidad en el proceso productivo, esto es, materias primas y salarios, “La durabilidad desigual del capital fijo”, “El tiempo que debe transcurrir antes de que (el producto) pueda ser llevado al mercado” y “La rapidez con que (el capital) regresa al empleador”, objeciones que como él explico “se resumen en la objeción del tiempo” si solo se usa capital de trabajo (Blaug, 2001).

Al suponer una tasa media de ganancia y un nivel medio de salarios, los bienes producidos con distintas razones de capital fijo a circulante conducirán a un

distinto valor. Mientras mayor sea la proporción de capital fijo empleada en las inversiones totales, mayor será el peso del ingreso no salarial en el costo, y menor la razón de los costos salariales al precio de venta. Por lo tanto, los bienes producidos con iguales cantidades de trabajo presente pero con cantidades distintas de maquinaria con vida útil desigual, introducen otra causa, además de la cantidad mayor o menor de trabajo necesario para producir un bien, para las variaciones de su precio (Ricardo, 1963).

Ricardo, al igual que Smith, no tenía una teoría de valor sino de precios. El *precio natural* lo determinaba el costo de la producción, mientras el precio de mercado lo fijaban las fuerzas de oferta y demanda. Cuando ambos precios coinciden, las tasas de ganancia son iguales en todas las actividades productivas. En cambio, cuando el precio de mercado se desvía del precio natural se producirán modificaciones en las tasas de ganancia que inducirán a reasignar los factores productivos que tenderá a ajustar nuevamente los precios.

A diferencia de Smith, el precio natural del mercado para Ricardo estaba determinado sólo por el trabajo y capital, mientras que la renta representaba para él un diferencial que había que pagar por el uso de tierras menos fértiles.

2.2.2.1.3. La teoría del valor de John Stuart Mill

En el Libro III, capítulo I de su obra Principios de Economía Política (1848) John Stuart Mill se ocupa del tema de valor, comenzando con la definición de los términos de valor de uso y valor de cambio, valor de cambio general y precio. Considera que anteriormente los términos de valor y precio son usados indistintamente, por lo cual es conveniente emplear el concepto de precio para expresar el valor de la cosa en función del dinero (Mill, 1978) y el valor de cambio un bien en relación con su poder de compra sobre todos los demás bienes cuyos precios relativos no varían entre sí (Blaug, 2001).

En el Libro III, capítulo II, introduce los conceptos de demanda y oferta. La demanda es definida como la demanda efectiva no en el sentido que le da Smith como la demanda que determina el precio natural de un bien, sino en el deseo apoyado por el poder de compra (Blaug, 2001). Mill observa que la demanda es una lista de cantidades, una función del precio. Este es un aporte importante en la teoría económica, ya que logra clarificar la distinción entre cantidad demandada y demanda. A partir de Mill es claro que una variación en el precio provoca cambios en la cantidad demandada (desplazamiento sobre la curva de demanda) mientras que, una variación en la demanda da como resultado variaciones en los precios (desplazamiento de la curva de demanda).

Para explicar los precios relativos, Mill señala que el problema de determinación del valor no siempre es de la misma clase. Y siguiendo a Ricardo, clasifica a los bienes en tres grupos. El primero caracterizado por una oferta absolutamente limitada (oferta totalmente inelástica). Entre estos bienes cuya cantidad es físicamente imposible de aumentar más allá de ciertos límites menciona a ciertas clases de vinos que sólo pueden producirse bajo determinadas condiciones de suelo y clima; obras de arte, libros, monedas raras; las casas y parques especialmente favorecidos en cuanto a belleza natural, en lugares en que estas condiciones son poco comunes. Un segundo grupo de bienes cuya oferta es susceptible de multiplicación indefinida sin incremento de costo (oferta es enteramente elástica). En esta categoría se encuentran la mayor parte de los bienes (la manufactura que funciona a costos constantes) en la que el obstáculo para la obtención consiste sólo en el trabajo y los gastos necesarios para producirlos. Y por último un grupo cuya oferta es susceptible de multiplicación indefinida pero no sin incremento de costo (oferta es relativamente elástica). A esta clase pertenecen los productos agrícolas, cuya producción exhibe costos crecientes. De esta distinción considera que, el valor en la primera clase de bienes es determinado sólo por la demanda, el de los bienes de la segunda clase por la oferta (los costos de producción) y el de los bienes pertenecientes a la tercera clase por el costo de producción en las circunstancias más desfavorables existentes. A pesar de

observar que la situación de una oferta totalmente inelástica es un fenómeno a corto plazo (dado el tiempo necesario, la cantidad de los bienes renovables puede aumentarse) y que a largo plazo, los costos son constantes (Blaug, 2001), las conclusiones de Mill conservan la distinción que hace Ricardo entre la determinación de los precios a corto plazo (precio de mercado) por la oferta y la demanda, y a largo plazo (precio natural) por los costos de producción, esto es, los salarios y beneficios.

En el capítulo XV, Mill reseña el problema de la búsqueda de Ricardo de una unidad de medición invariable que permita conocer el origen de un cambio en los precios relativos. Dado que lo que se busca no es una medida de valor de la misma cosa en el mismo tiempo y lugar, sino una medida de valor en distintos momentos y espacio, Mill sostiene que es imposible de alcanzar, en virtud de lo cual queda descartada. Y continúa diciendo que, lo que los autores han construido con el nombre de una medida del valor, es una noción que podría llamarse más propiamente una *medida del costo de producción*, esto es, algún medio para determinar el valor de un bien por comparación con la medida, sin referirlo especialmente a ningún otro bien dado. Sin embargo, no explica cómo puede elaborarse esta medida del costo de producción (Blaug, 2001).

2.2.2.1.4. El trabajo socialmente necesario de Karl Marx

Al igual que los clásicos, en el tomo I, sección I, del Capital, Karl Marx (1867) inicia el estudio del valor señalando que para que una mercancía tenga valor debe satisfacer cualquier clase de necesidades humanas, ya sea de manera directa, como medio de vida, o indirectamente, como medio de producción (Marx, 1973). Una vez que reconoce que el valor de uso, al que denomina valor, es el soporte material del valor de cambio, continúa en el mismo camino que Smith, Ricardo y Mill, concentrando su análisis del origen del valor en el valor de cambio.

Como se mencionó anteriormente, para estos pensadores, el precio natural de las mercancías está determinado por los costos de producción. Para A. Smith los costos estaban compuestos por la tierra el trabajo y capital, mientras que, para D. Ricardo y J. S. Mill la tierra no era un determinante del valor sino sólo un diferencial que permitía igualar las tasas de ganancia de las distintas actividades. Marx introduce un cambio importante en este esquema. Este pensador señala que si se prescinde del valor de uso de las mercancías, ellas sólo conservan una cualidad común y es la de ser productos del trabajo y que el capitalista se apropia de una parte del valor de cambio que le pertenece al trabajador. En este esquema, el empresario desempeña el mismo papel que el del rentista en el análisis de Ricardo y Mill, de apropiarse de parte de la riqueza que no ha producido, esto es, la ganancia o plusvalía.

Para Marx, el valor de una mercancía es la forma objetiva del trabajo social gastado en la producción misma, y la medida de la magnitud de su valor es la magnitud del trabajo que contiene la mercancía independiente de las preferencias de los cambistas (Judson, 1989): el valor de una mercancía se determina por la cantidad de trabajo socialmente necesario, que es el tiempo promedio de horas de trabajo que se requiere para producir un valor de uso cualquiera, en las condiciones normales de producción y con el grado medio de destreza e intensidad de trabajo imperantes en la sociedad. Por lo cual, mercancías con la misma cantidad de tiempo socialmente necesarios para producirlas representan la misma magnitud de valor.

Las modificaciones en la magnitud del valor de cambio de las mercancías determinadas por el tiempo de trabajo socialmente necesario estarían dadas, por lo tanto, por cambios en la capacidad productiva entre las cuales se cuentan el grado medio de destreza del obrero, el nivel de progreso de la ciencia y sus aplicaciones, la organización social del proceso de producción, el volumen y la eficacia de los medios de producción y por las *condiciones naturales* (Marx, AÑO).

Tanto como en la definición de sus predecesores, Marx cae en contradicciones al tratar de explicar el valor de cambio basada en el tiempo de trabajo socialmente necesario, cuando Marx trata de explicar la relación capital-trabajo, denominada como composición orgánica del capital en la generación de plusvalía.

2.2.2.1.5. Neo-Ricardianos: Piero Sraffa

El economista matemático Piero Sraffa publicó en 1960 *Producción de mercancías por medio de mercancías*, trabajo que surge originalmente como una crítica al análisis de la utilidad marginal. En este libro, Sraffa establece las condiciones bajo las cuales las relaciones de intercambio entre bienes pueden ser determinadas basando su empleo en la producción y en las que estas proporciones de intercambio no estaban basadas en ninguna condición de marginalidad (Farber et al., 2002).

Sraffa concibe la producción de bienes como un flujo circular, donde la producción de un sector es el insumo del sector siguiente y emplea un solo precio para cada tipo de bien así como una tasa de beneficio uniforme para toda la economía. Sraffa argumenta que la economía será determinada enteramente por la relación funcional inversa entre tasa de salarios y tasa de beneficios. (Wolff, 1982; Judson, 1989). El punto principal de este argumento es que el valor de cambio de cualquier bien con relación a cualquier otro en la economía está determinado totalmente (por completo) por las condiciones de producción socio-técnicas (Bandyopadhyay, 1985). En este sentido, Sraffa expone que el valor de los bienes, en un nivel macroeconómico, es independiente de las preferencias de los consumidores y sólo depende de los costos de producción de los insumos (y no únicamente del contenido de *trabajo socialmente necesario* como es planteado por Marx).

Para Sraffa, los costos de producción en términos monetarios son un indicador total de un valor de bienes relativo a otros bienes. “Usando una teoría del valor-bien, cualquier bien que es empleado para hacer otros bienes crea valor (Pack, 1985). Sin embargo, el pensamiento de Sraffa no constituye una teoría de precios en el sentido de establecer los procesos de o para la determinación de precios.

2.2.2.2. Teoría subjetiva del valor: Economía Neoclásica

Como vimos en la sesión anterior, lo que se conoce como teoría del valor de los clásicos es, en realidad, una teoría del precio basada en los costos de producción. De acuerdo con esta escuela, los costos determinaban el valor de cambio (precio) en el largo plazo. Este razonamiento los llevó a un círculo vicioso, ya que los costos determinaban los precios y al explicar la determinación de los costos de los factores productivos lo hacían en función de sus precios (salario, ganancia y renta). Este problema pudo ser resuelto en gran medida a través de la teoría de la utilidad marginal.

Hasta fines del siglo XIX y principios del XX, la teoría del valor trabajo de la escuela de economía clásica fue el pensamiento dominante en el análisis de la economía, periodo en el que, con la Revolución Marginal, es remplazada por el análisis de la utilidad marginal.

Los economistas clásicos, siguiendo la idea aristotélica, distinguieron entre valor de uso o simplemente valor (Marx, 1973) y valor de cambio o precio. Y desarrollaron una teoría de valor (precio) dando por sentado que para que todo bien tenga un precio o valor de cambio debía tener un valor de uso. Los neoclásicos, por el contrario, desarrollaron una teoría del valor basados en el valor de uso y emplearon la palabra de utilidad para designarlo y precio para distinguir el valor de cambio.

La literatura generalmente atribuye el término de revolución marginal al descubrimiento casi simultáneo, pero independiente, del principio de utilidad marginal decreciente como construcción fundamental de una nueva clase de *microeconomía estadística* realizado por Willian S. Jevons, Carl Menger y Leon Walras, a comienzos de la década de 1870 (Blaug, 2001). Por supuesto, economistas como Antoine-Augustin Cournot, Jules Dupuit y Herman Heinrich Gossen fueron importantes precursores de esta nueva escuela de pensamiento económico.

La concepción neoclásica de valor económico está basada en relaciones de indiferencia que son el resultado de una estructura particular impuesta sobre preferencias descritas por los axiomas de integridad, reflexividad, transitividad, no saciedad y continuidad. La condición de continuidad hace referencia a que cualquier cambio en un bien puede ser compensado por un cambio en otro bien. Detrás de este axioma se encuentra en centro del concepto económico de valor: la sustitución, la cual permite el libre intercambio de bienes (Lockwood, 1997).

La teoría de utilidad marginal se centra en las decisiones hechas por el individuo, en las que la utilidad marginal es el estándar de intercambio (en Judson, 1989) y en el cual los procesos de ajuste son asumidos a llevarse a cabo en el muy corto plazo (Hicks, 1970) a través de la intervención de las decisiones de los agentes económicos usando toda la información disponible (expectativas racionales). Bajo estos supuestos, la utilidad marginal medida por la disposición a pagar (WTP) representa el valor monetario de marginal de los bienes o servicios intercambiados.

La teoría neoclásica explora las condiciones bajo la cual los precios trabajan eficientemente como una herramienta de asignación. Cuando los mercados operan en forma adecuada, es decir, en ausencia de impuestos, subsidios y otras distorsiones como la presencia de externalidades, los valores mercantiles (precios) permiten que la asignación de los recursos y los bienes de consumo se realice de

acuerdo con los objetivos de los consumidores y productores, extrayendo así el máximo excedente social. El precio que maximiza los beneficios netos, llamado óptimo de Pareto, es aquel que es igual a los costos marginales. Los precios son igualados al costo marginal solo bajo condiciones de competencia perfecta. No obstante, es bien sabido que tales mercados no existen en la vida real. En el caso del agua, existe un conjunto de fallas de mercado, tales como las externalidades (Roe et al., 2005), información asimétrica (Tsur, 2000), grandes costos fijos (Tsur et al., 2004; UNESCO-WWAP, 2006) por lo que los mercados no funcionan adecuadamente o no existen.

En la Figura 2.1 se muestra de forma gráfica la manera de estimar el valor bajo la perspectiva de la teoría neoclásica. La curva de demanda, D , representa la disposición a pagar (WTP) por cada unidad de un bien o servicio, Q , consumido, esto es, su disposición marginal a pagar. La pendiente negativa de la demanda refleja la utilidad marginal decreciente del bien o servicio, Q . Cuando la cantidad ofrecida es igual a Q_0 , los consumidores pagan el precio P_0 por cada una de las unidades adquiridas de Q . El valor de cambio (precio) total pagado por Q_0 unidades es representado por el área $P \times Q_0$, mientras que la disposición a pagar total por esa cantidad es la suma de las áreas $A+B$. El área A , llamada excedente del consumidor, mide la utilidad adicional que obtienen los consumidores con respecto a lo que pagan por un bien. En el caso del agua, como el de muchos otros bienes ecológicos, el área A es muy grande dado que el valor (utilidad) llega a incrementarse de forma pronunciada conforme el bien comienza a ser escaso. Así, a pesar de que el valor marginal del agua es finito, el valor total es indeterminado.

La Figura 2.1 es útil para determinar el valor cuando existen mercados observables, sin embargo, en ausencia de ellos, el eje de los precios, P , debe de ser determinado indirectamente. En tal caso, $P \times Q_0$ representaría el valor no mercantil para la cantidad consumida Q_0 .

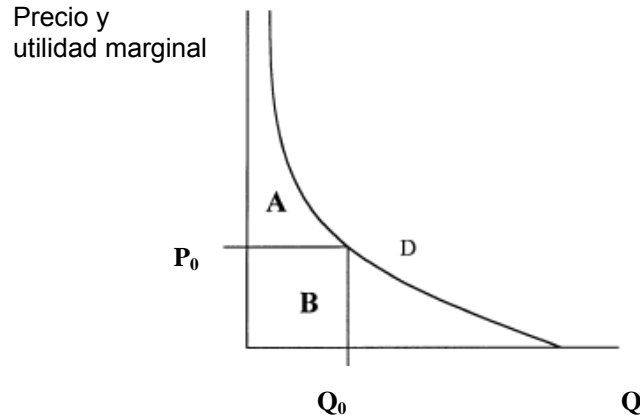


Figura 2.1. El precio P_0 refleja que en la cantidad Q_0 la utilidad marginal del bien Q es igual a la cantidad que están dispuestos a pagar por adquirir ese bien.

2.2.2.3. Métodos de valoración no mercantil

Las decisiones sobre el manejo de los recursos hídricos son complicadas debido a la existencia de varios tipos de fallas en el mercado que están asociados con los recursos naturales y el ambiente (ver Figura 2.2). Las fallas del mercado ocurren cuando los mercados no reflejan los costos sociales totales o beneficios de un bien. Las fallas del mercado relacionadas al sector del agua incluyen: 1) el hecho que, dadas las características del agua, muchos de los bienes y servicios provistos por el agua son bienes públicos; 2) muchos de los servicios de los ecosistemas acuáticos son afectados por externalidades; y, 3) los derechos de propiedad del agua y sus servicios no están claramente definidos.

Los economistas reconocen que en el caso de los recursos naturales, y en especial del agua, el precio como mecanismo de asignación de los recursos es inadecuado. Dado que la formación de los precios está sujeta a la existencia previa de relaciones de oferta y demanda, los beneficios o costos que carezcan de mercados asociados serán invisibles a la contabilidad económica y por tal a la toma de decisiones basadas en consideraciones monetarias.

Existe además, la aceptación de que la teoría proporciona mecanismos de valoración de los valores de uso pero no así de sus distintos componentes, tales como los valores de uso indirecto y mucho menos de los valores de no uso del agua (Figura 2.3). En este sentido, el valor de uso es expresado en precios comerciales monetarios. Sin embargo, desde la perspectiva económica, es más complicado poner precios sobre procesos que contribuyen a la diversidad genética o a la reproducción de peces, por ejemplo. De lo cual ha surgido en la propuesta de considerar el valor económico total del agua (o de cualquier recurso natural) como la suma del valor de uso y no uso (Munasingue, 1993).

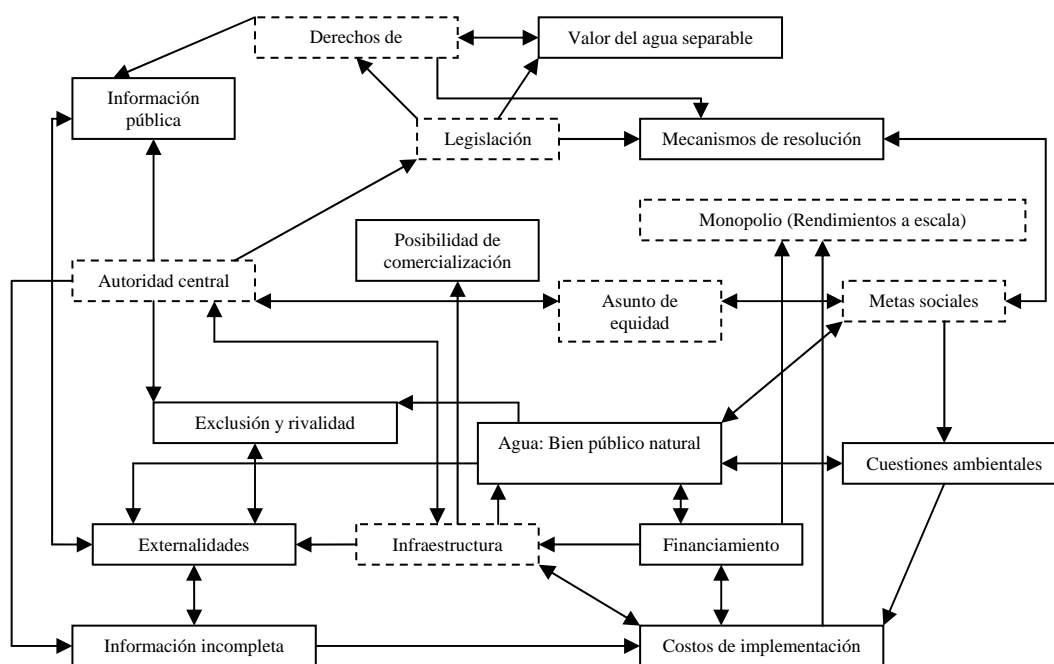


Figura 2.2. Relaciones esenciales entre diferentes factores concernientes a los mercados del agua (Dudu and Chumi, 2008).

Pearce y Markandya (1989) diferencian entre el valor de uso y de no uso de los recursos naturales, en donde los últimos incluyen el valor de opción, de existencia y de legado. El valor de opción es básicamente el monto que los agentes económicos están dispuestos a pagar por una contribución potencial o alternativa a las formas de uso. El valor de existencia es aquel que provee una fuente de placer,

estético o no, por el simple hecho de su existencia. Los valores de legado conciernen a valores puestos sobre futuras generaciones (Collet, 2007).

Estos valores de opción, existencia y legado, los cuales no son expresados en precio y quedan fuera de la economía de mercado, pueden ser usados en exceso y subvalorados. La ausencia de mecanismos de mercado, de agentes económicos que envían señales de estos valores, hizo necesario la elaboración de herramientas para el cálculo de algunos componentes del valor económico total. Con el fin de internalizar estos costos o beneficios (externalidades) derivados de los servicios de los ecosistemas acuáticos, la economía plantea la existencia de formas de valor no captadas por el mercado (valores de uso indirecto y de no uso), proponiendo métodos de valoración mediante la simulación de mercados hipotéticos.

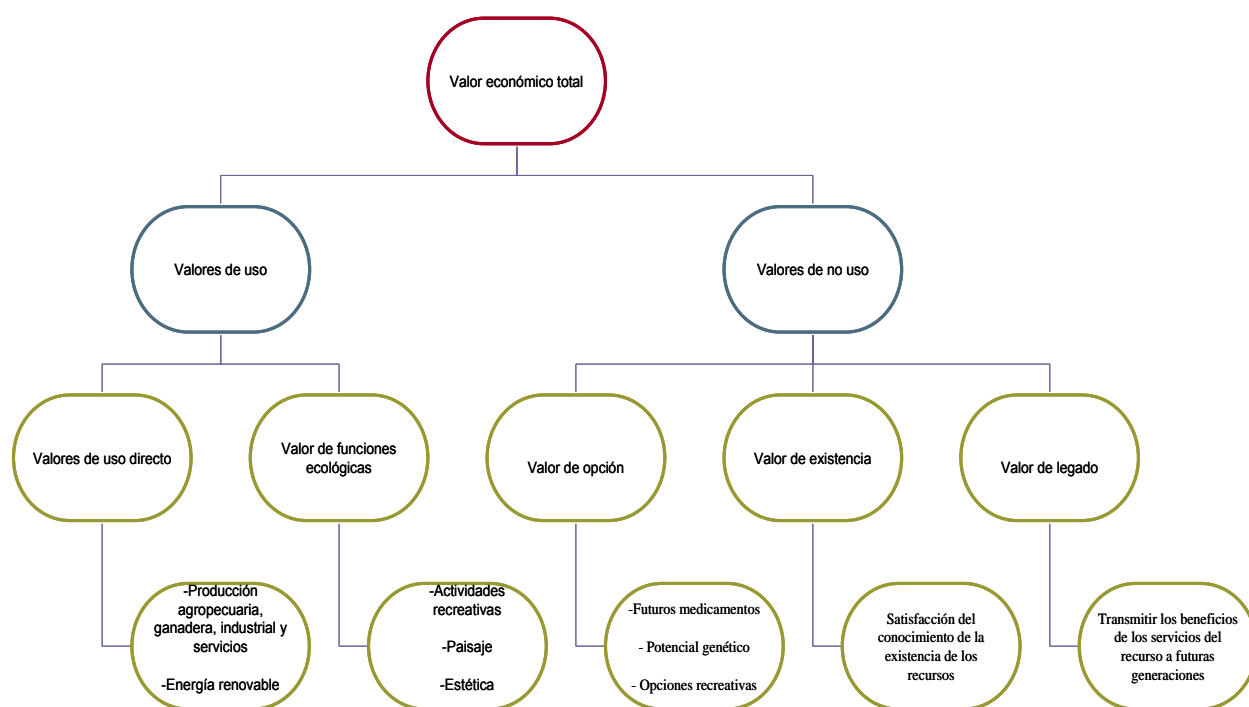


Figura 2.3. Valor económico total del agua

A través de soluciones analíticas, transfieren el concepto de valor económico de la teoría neoclásica, la disposición a pagar (WTP), para realizar la estimación del

valor económico (referido como precio invisible o precio contable) de los bienes y servicios del agua en situaciones donde los precios del mercado no existen o están distorsionados (Freeman, 2003). La economía complementa así el marco analítico neoclásico sin transgredir el ámbito de la valoración monetaria para desarrollar métodos de estimación en unidades monetarias del valor no comercial de los bienes y servicios ambientales. Dentro de estos métodos de valoración se encuentran los de preferencias reveladas y los de preferencias declaradas, que permiten estimar tanto los valores de uso como de no uso. Los métodos de preferencias reveladas se basan en el análisis del comportamiento de los individuos en mercados de bienes que están relacionados con el recurso a valorar, mientras que los de preferencias declaradas infieren el valor del bien cuyo mercado es inexistente mediante la simulación de mercados.

2.2.2.3.1. Análisis costo-beneficio

El análisis Costo-Beneficio (Cost-benefit analysis) es una herramienta analítica basada en la teoría del bienestar, la cual es realizada a través de la agregación de los costos y beneficios totales de un proyecto o política, tanto en tiempo como espacio. Se considera que un proyecto o política mejora el bienestar sólo si los beneficios netos (de costos) son positivos.

Cuando se trata de recursos naturales, como el agua, el análisis de costo-beneficio de un proyecto o política se complica debido a que estos son considerados bienes públicos y por tal no disponen de valores monetarios disponibles para ellos, pero también porque su valor es más complejo comparado con los bienes privados. En la Figura 2.4 podemos ver estas complicaciones. La curvas $MNPB$ y $MNPB_S$ representan los beneficios marginales netos privados del uso del agua y los beneficios marginales netos privados exacerbado por subsidios de su uso, respectivamente, mientras que, las curvas MEC_L y MEC_{L+G} los costos externos marginales y los costos externos marginales locales y globales del uso del agua. La gráfica muestra cuatro equilibrios con cuatro niveles de uso del recurso. El

punto C muestra el equilibrio entre los costos y beneficios del uso del agua que, en ausencia de subsidios representa el óptimo local privado. El punto D, representa el uso de agua óptimo cuando es subsidiada. En ambos equilibrios, C y D, las externalidades no son tomadas en cuenta.

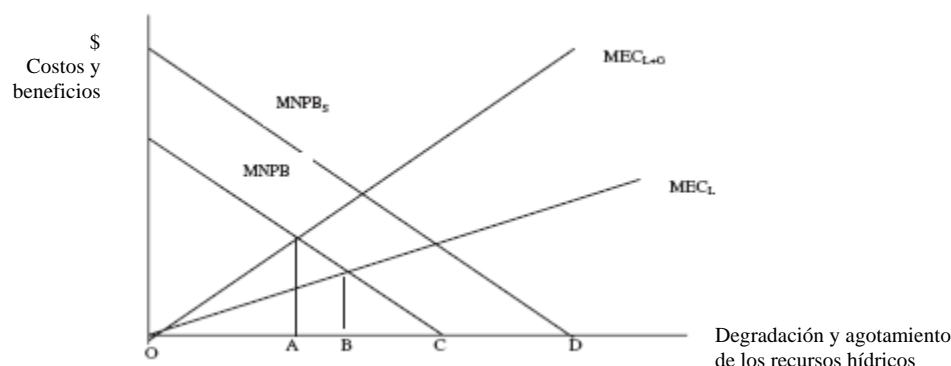


Figura 2.4. Selección del nivel óptimo del uso del agua por medio del análisis de Costo-Beneficio (Birol E. et al., 2006).

Cuando las externalidades son consideradas, surgen nuevos niveles óptimos en el uso del recurso. El punto B, representa el óptimo social cuando las externalidades locales son internalizadas. Cuando todas las externalidades son internalizadas, el nivel óptimo social global representado por el punto B (Birol, 2006). En este punto las fallas del mercado local, medidas por la distancia B-C y global (A-B) así como las fallas del estado (segmento C-D), han sido corregidas y es la cantidad de OA en donde el uso del agua es eficiente. El segmento AD refleja la ineficiencia del uso del recurso surgida por la divergencia entre el óptimo social y privado.

El análisis de costo-beneficio se originó en Estados Unidos en el contexto de las actividades del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. a principio del siglo pasado en proyectos de navegación. A partir de 1902, cuando el acta de ríos y puertos crea un Consejo de ingenieros para la revisión del análisis de los beneficios con relación a los costos de tales proyectos de navegación, se inicia una serie de proyectos para la valoración no comercial de los servicios provistos por los recursos

hídricos federales, dando como resultado una publicación en 1950 de lo que llegó a ser conocido como el Libro Verde, que intentó codificar los principios del análisis de costo-beneficio para el empleo por agencias federales (Hanemman, 2006). Posterior a este libro, en los sesenta, se publicó una serie de artículos y seis libros académicos relacionados con el análisis de costo-beneficio de proyectos del agua.

2.2.2.3.2. Métodos de preferencias reveladas

El valor de algunos bienes y servicios de los ecosistemas acuáticos pueden ser medidos directamente usando los precios de mercado a través de la estimación del excedente del consumidor y productor, como cualquier otro bien mercantil. En el caso de otros servicios de dichos ecosistemas, como el agua, que es usada como insumo en la producción, su valor puede ser medido por medio de la contribución que hacen a las utilidades (ganancias) del bien final. Sin embargo, algunos servicios ambientales de los ecosistemas acuáticos, tales como el agua limpia, la estética o actividades recreativas, no son vendidos y comprados en el mercado. Los métodos de preferencia revelada, también conocidos como métodos de valoración indirecta buscan mercados sustitutos o relacionados en los cuales los bienes ambientales son implícitamente negociados, empleando la información obtenida de estos mercados para estimar la disposición a pagar (WTP) derivada de los recursos ambientales. La idea subyacente de los métodos de preferencias reveladas es que, si bien algunos bienes y servicios ambientales no pueden comprarse en el mercado, pueden existir mercados de bienes que sirven como un sustituto parcial para los bienes no mercantiles ya que el disfrute de estos bienes es elevado, o depende de aquellos (Hanemann, 2006). Los dos métodos más comunes en la literatura de economía ambiental son el método del precio hedónico y el método del costo de transporte. Algunos otros métodos de preferencia revelada cuyo uso en el contexto ambiental es menos frecuente son, el método del costo de reemplazo, los gastos de prevención, el enfoque de función de producción y el ingreso del factor neto y el método del costo de enfermedad y precios de mercado.

2.2.2.3.2.1. Método de precio hedónico

El método del precio hedónico (MPH) está basado en la teoría del valor característico de Lancaster (Lancaster, 1966) la cual plantea que cualquier bien puede ser descrito por un conjunto de características y los niveles que éstas toman, y que el precio del bien depende, entonces, de sus características y sus niveles respectivos. En este sentido, la premisa básica del método del precio hedónico es que el precio de un bien mercantil está relacionado a sus características, o los servicios que este provee. El MPH puede ser usado para estimar los beneficios económicos o costos asociados con la calidad ambiental, por ejemplo, la contaminación del agua o aire o el ruido; y los servicios ambientales, tales como la vista estética o proximidad a sitios recreativos.

Este método es aplicado, comúnmente, a variaciones en los precios de viviendas que reflejan el valor de los atributos del ambiente local. En los modelos hedónicos, los precios unitarios de las viviendas representan la suma de los gastos en un conjunto de características que pueden ser valorados por separado. Si $z=(z_1, \dots, z_n)$ es un conjunto de características de la casa, el precio de la casa es determinado por una función hedónica, $p(z)$, de acuerdo a las condiciones predominantes que vacían el mercado. El conjunto de características que determina los valores de la casa consisten en atributos estructurales de la casa, tales como superficie del piso, tamaño del terreno, número de habitaciones y baños; disponibilidad de servicios públicos tales como oferta de agua potable, electricidad; niveles de criminalidad y atributos ambientales tales como calidad del aire, niveles de ruido, estética visual, cantidad y calidad de agua, etc.

Para la aplicación de este método es necesario coleccionar alguna base de datos sobre el índice o medida del servicio ambiental de interés. Los efectos de las diferentes características de la vivienda y las ambientales se estiman a través de un análisis de regresión, generalmente a través de mínimos cuadrados ordinarios. Los resultados de dicho análisis indican cuál es el cambio en el valor de la propiedad

(precio) por la variación en cada una de las características, manteniendo todas las demás constantes.

Este método es relativamente fácil de aplicar ya que está basado e precios de mercado actuales y datos fácilmente medibles. Además, si los datos están disponibles el costo de su aplicación es relativamente barato. Sin embargo, el análisis puede complicarse con el número de factores considerados. Por ejemplo, pueden existir relaciones no lineales entre el precio y las características de la propiedad. Aunado a lo anterior, en estudios econométricos recientes se ha tratado el sesgo potencial y la pérdida de eficiencia que puede resultar cuando los efectos espaciales son ignorados en la estimación de los modelos hedónicos (Pace and LeSage, 2004). Los patrones espaciales en los mercados de las viviendas surgen de una combinación de heterogeneidad y dependencia espacial. La heterogeneidad espacial puede originarse por factores de la demanda u oferta, así como por barreras institucionales o discriminación racial causando diferenciales de precios entre vecindarios. Por otro lado, la dependencia espacial significa que los precios de las casas que son cercanas son más similares a aquellas que están más apartadas. En la práctica, la autocorrelación espacial puede ser resultado de la heterogeneidad espacial que no es modelada correctamente (Baumont, 2004).

Otra limitante de este método surge de los problemas de medición de las variables explicativas, la tendencia debido a la omisión de variables relevantes afecta las estimaciones de parámetros en la función de regresión que, en turno, impacta la valoración.

Una limitante adicional a este método es que la extensión de los beneficios ambientales que se miden se restringe a aquellos valores de uso percibidos por el consumidor de los bienes que están relacionados al precio de la vivienda. Los precios hedónicos son incapaces de capturar el valor de servicios tales como el control de inundaciones, la mejora de la calidad de agua, la recarga de los acuíferos o el hábitat para especies. Además, dado que los precios hedónicos sólo reflejan la

disposición a pagar de las personas dadas las diferencias en atributos ambientales percibidos, si las personas no son conscientes de la correspondencia entre los atributos ambientales y las ventajas de su propiedad, el valor de tales características no se verá reflejado en el precio.

Algunas aplicaciones tempranas del método de precios hedónicos a la valoración del agua de irrigación son las de Milliman (1959) y Hartman y Anderson (1962). Otros ejemplos de trabajos que utilizaron el método de precios hedónicos en el análisis de la relación entre el precio de la tierra y el acceso al agua superficial y subterránea son los de Miranowski y Hammes (1984), Gardner and Barrows (1985), Ervin y Mill (1985), King and Siden (1988). Wayne Leftwich Jr. (2007) empleó el método de precios hedónicos para explicar el impacto que podrían tener la sedimentación en los valores de la propiedad a lo largo del Lago Greenwood. Las ecuaciones hedónicas reflejaron el valor del mercado y el precio de venta de las propiedades seleccionadas a la orilla del lago, con un promedio de 4.6 por ciento del área del lago original perdida por el sedimento, los resultados de sus modelos estiman la pérdida del valor de la propiedad entre 7,800 a cerca de 10,000 dólares en promedio. Anselin et al. (2008) aplicó el análisis hedónico para estimar el valor de una mejora en abastecimiento agua en dos ciudades de la India: Bhopal y Bangalore, considerando explícitamente el aspecto espacial. Las conclusiones sugieren que incorporando los efectos de vecindad en las estimaciones hedónicas de la capitalización de abastecimiento de agua mejorado, los beneficios totales que incluyen efectos directos y multiplicadores de vecindad son bastante más altos que estimaciones de la valoración no espacial. De acuerdo con los resultados para las ciudades de Bangalore y Bhopal, la estimación espacial excede las estimaciones de la disposición un pagar marginal (MWTP), definida como la derivada del precio hedónico con respecto a las características de interés, por cambios en la disponibilidad del agua en un 23 y 16 por ciento, respectivamente.

2.2.2.3.2.2. Método del costo de viaje

La dificultad de valorar bienes y servicios que se distribuyen en mercados imperfectos o que carecen de ellos puede ser inferido a través de las preferencias de los agentes económicos observando su comportamiento en mercados asociados. El análisis de las decisiones de los consumidores de esta manera requiere una conexión entre lo que puede observarse y lo que requiere valorarse.

Los primeros esfuerzos por asignar un valor ecológico a los servicios ecológicos se centraron en la valoración de las amenidades recreativas a través del método del costo de viaje. La remisa principal del método del costo del viaje es que el gasto en tiempo y dinero realizado para visitar un sitio refleja el valor (precio) de las amenidades recreativas y ambientales del sitio para los visitantes.

Así, la disposición a pagar (WTP) de las personas para visitar el sitio puede ser estimado basado en el número de viajes que ellos hacen con diferentes costos de transporte. Para ello se aplican cuestionarios a los visitantes en donde se registra el número de visitas por año, el costo de viaje por visita, el nivel de ingreso y otras variables socioeconómicas que se consideren relevantes. Dado que el costo del viaje varía de una persona a otra y de acuerdo a la distancia del sitio, es posible estimar una función de demanda.

El método del costo de viaje surgió en Estados Unidos de una petición del Servicio de Parques Nacionales (NPS) en la que se buscaba medir el valor económico asociado con la existencia de estos parques. En respuesta a esta petición el economista Harold Hotelling propuso la medición de una razón diferencial en función de la distancia viajada por los visitantes para llegar a los parques. De acuerdo con Hotelling, midiendo el costo del viaje y graficándolo en contra de las tasas de visitas se podría construir una curva de demanda para los visitantes del sitio y determinar el excedente del consumidor de acuerdo a la teoría económica convencional (Hanemann, 2006). La primera publicación de la aplicación

del método fue hecha por Trice y Wood (1958) seguido por Clawson (1959). Para 1964, había en Estados Unidos al menos cinco aplicaciones más de este método y es cuando este es establecido como un procedimiento de valoración no mercantil (Hanemann, 2006).

El método del costo del viaje presenta algunas variantes, que van desde un modelo simple por zonas, que emplea información secundaria con la aplicación de cuestionarios sencillos a visitantes, hasta enfoques de costo de transporte individual, los cuales incorporan encuestas detalladas a los visitantes, y modelos de utilidad aleatoria, que usan índices y cuentas de calidad para sitios sustitutos y cuyas técnicas estadísticas son más complicadas (CGER, 1997).

El método del costo del viaje es útil para estimar los costos y beneficios resultado de: cambios en el costo de acceso a sitios recreativos, eliminación de un sitio recreativo existente, adición de un nuevo sitio recreativo o cambios en la calidad ambiental de este tipo de sitios.

A pesar de la aceptación de este método debido al empleo de técnicas económicas estándares para la valoración y al uso de información sobre el comportamiento actual más que hipotéticos escenarios, existen numerosas limitaciones, algunas de las cuales se mencionan a continuación: 1) El definir y medir el costo de oportunidad del tiempo es complicado en el sentido que no hay un consenso sobre una medida adecuada; 2) a pesar de saber que la disponibilidad de sitios sustitutos modifica el valor del sitio estudiado, sólo el enfoque de utilidad aleatoria toma en consideración y usa la información de todos los sitios que la persona puede visitar, sus características y el costo del viaje de cada sitio para determinar el valor de un sitio o servicio de un ecosistema; 3) el MCV es limitado en su extensión de aplicación debido a que requiere la participación del usuario, esto es, el método no puede ser usado para asignar valores a características y funciones ambientales del sitio que los usuarios del sitio no valoren.

Los modelos del costo del viaje han sido empleados para calcular los efectos en el bienestar por cambios en la calidad de agua en zonas recreativas.

2.2.2.3.2.3. Método de costo de remplazo

El costo de reemplazo estima el valor de los servicios de un ecosistema basado en el costo de proveer servicios sustitutos hechos por el hombre, por ejemplo, la purificación natural del agua puede ser reemplazado por sistemas de tratamiento. El supuesto principal del método es que, si los individuos incurren en gastos para reemplazar las funciones del ecosistema, entonces la pérdida de estos servicios debe ser valorada al menos en lo que la gente está dispuesta a pagar (WTP) por reemplazarlos. El método no se basa en las preferencias sociales para los servicios del ecosistema, o comportamiento individual en ausencia de estos servicios, y no provee una medida estricta de los excedentes del consumidor y del productor.

La aplicación del método de costo de reemplazo es más apropiada en los casos donde hay un estándar que es conocido, como un cierto nivel de calidad de agua (Markandya et al., 2002). Ejemplos de casos donde este método podría ser aplicado son la valoración de la mejora en calidad de agua midiendo el costo del control de emisiones de efluente y la valoración de los servicios de purificación del agua de un pantano midiendo el costo de filtración y tratamiento químico del agua.

La aplicación de este método requiere información sobre el grado de sustitución entre el mercado de bienes y recursos naturales. Sin embargo, son pocos los recursos naturales que tienen tales sustitutos directos o indirectos. Dado que los bienes y servicios que son reemplazados probablemente solo representan una porción del total de los servicios provistos por los recursos naturales, los beneficios de sustituir los recursos ecológicos podrían ser subestimados.

2.2.2.3.2.4. Enfoque Ingreso Neto del factor

El ingreso neto del factor estima los cambios en el excedente del productor (beneficio neto) sustrayendo los costos de otros insumos en la producción del ingreso total y atribuye el excedente restante al valor del insumo ambiental (Brander et al., 2006). Así, los beneficios económicos de, por ejemplo, la mejora de la calidad del agua pueden ser medidos por el incremento en los ingresos de una mayor productividad agrícola o pesquera.

2.2.2.3.3. Métodos de preferencia declarada

Muchos de los servicios ambientales que ofrecen los recursos hídricos no son comerciables y no están estrechamente relacionados con ningún bien mercantil. Por tal motivo, la gente no puede revelar lo que están dispuestos a pagar por ellos a través de acciones o adquisiciones mercantiles. En estos casos, las encuestas pueden ser usadas para preguntarles directamente a las personas sobre su disposición a pagar por tales servicios, basados en escenarios hipotéticos. Estos métodos incluyen el método de valuación contingente y modelos de elección.

2.2.2.3.3.1. Método de valuación contingente

El método de valuación contingente es el método más usado para la valuación de una amplia variedad de bienes y servicios ambientales no mercantiles. Este método es muy flexible y es el único capaz de estimar, además de los valores de uso, valores de no uso, también referidos en la literatura como valores de uso pasivo. Estos últimos incluyen todas las funciones de los ecosistemas que soportan la vida humana, tales como salud, biodiversidad y hasta el goce de vista escénica o la opción de legar estos derechos a futuras generaciones. Por ello, quizá el método de valuación no comercial es más controvertido.

A diferencia de los métodos de preferencias reveladas, que infieren los valores de elecciones actuales, el método de valoración contingente pregunta directamente a las personas para declarar sus valores, por lo cual es referido como un método de preferencias declaradas.

El propósito del método de valoración contingente es obtener, en términos monetarios, preferencias de los individuos para cambios en la cantidad y calidad de bienes o servicios ambientales. El método depende o es contingente de un escenario hipotético específico en el cual las personas que son encuestadas expresan cuál es la máxima cantidad de dinero que estarían dispuestos a pagar (WTP), o alternativamente la mínima disposición a aceptar (WTA) por un aumento o decremento del bien o servicio.

La discusión sobre la validez práctica de la valoración contingente centra la atención en el diseño e implementación de la encuesta.

2.2.2.3.3.2. Modelos de elección

A veces, en lugar de valorar un escenario determinado, lo que interesa es valorar por separado los distintos atributos de un bien o servicio ambiental. Así, por ejemplo, un investigador puede estar interesado en el valor de diversas características de la contaminación de un lago como pueden ser la pérdida de aves nativas, de peces o de actividades recreativas como esquiar o la pesca deportiva. Para este fin, son usados los modelos de elección (choice modelling), también llamados métodos basados en atributos (attribute-based methods), los cuales estiman el valor de cada uno de estos componentes. Estos modelos son similares a la valoración contingente, en que pueden ser usados para estimar tanto valores de uso y de no uso. Sin embargo, difieren de aquella ya que incluyen más de una variación en la cantidad o calidad de un bien. En ellos, las encuestas presentan distintas alternativas de forma que las personas entrevistadas expresan sus preferencias.

Dentro de los modelos de elección existen varios métodos de acuerdo a la forma en la que se formula la encuesta. Si la encuesta está estructurada de forma que la persona ordena un conjunto de alternativas según sus preferencias, el método se conoce como ordenación contingente (contingent ranking). Si, en cambio, la clasificación de las alternativas que debe de hacer el encuestado es de acuerdo a una escala, el método es el de puntuación contingente (contingent rating). Y, si la elección debe de hacerse de acuerdo a la opción preferida entre un conjunto de alternativas, el procedimiento se denomina método de los experimentos de elección (choice experiments) (Bateman et al., 2002). De los modelos de elección el más usado para la estimación de valores no mercantiles ha sido el método de los experimentos de elección.

2.2.3. Valor ecológico

El concepto de valor en las Ciencias Naturales tiene una connotación distinta a la económica porque los ecosistemas no tienen sistemas de valores¹. Sin embargo, delimitando el concepto de valor al grado al que un artículo contribuye a un objetivo o condición en un sistema (Limburg et al. 2002), los científicos naturales usan el concepto de valor todo el tiempo refiriéndose a las relaciones causales entre diferentes partes de un sistema. Por ejemplo, uno puede hablar acerca del valor de una especie particular de árbol en el control de la erosión del suelo en un área de pendiente elevada (Farber et al., 2002). Esta definición considera el valor como una cualidad objetiva, sin embargo, no toma en cuenta los procesos sociales y preferencias humanas que guían el uso del recurso.

¹ Los sistemas de valor se refieren a constelaciones intrapsíquicas de normas y preceptos que guían la acción y el juicio humano (Farber et al., 2002: 375).

2.2.3.1. Valoración ecológica: Teoría del valor energía

Algunos físicos, y economistas ecologistas han propuesto la teoría del valor energía como alternativa a la teoría del valor neoclásica (Costanza, 1980, 2004; Hall, et al., 1992; Odum, 1996) y han mostrado que existe una correlación entre consumo de energía y producción económica a nivel nacional a través del análisis de Insumo-Producto de energía. Sin embargo, debido a la dificultad del análisis preciso de energía y a que los mercados reales son sumamente complicados, no se ha encontrado aún, una evidencia decisiva que relacione los costos energéticos a los precios de venta de bienes individuales (Liu et al., 2008).

La valoración energética se basa en los principios de la termodinámica donde la energía solar es considerada como el insumo primario del ecosistema global (Farber et al., 2002: 382) y representa el regreso a las ideas de David Ricardo, quien consideraba que la identificación del insumo primario permitiría explicar el valor de cambio en el cual se basan las relaciones de producción. El problema, sin embargo, es que ni el trabajo, ni cualquier otro bien son realmente primarios. Los estudiosos ambientales consideran que la energía satisface el criterio de insumo primario de la teoría ricardiana y que puede, por tanto, explicar el valor de cambio.

La teoría del valor energía plantea a la energía como el factor determinante del valor de un bien o servicio la medida de valor (Odum, 1989) o al menos como uno de los factores importantes en la determinación del valor (Hannon, B., 1987; Farber et al., 2002) y ha sido empleada desde los años cincuenta como una alternativa para valorar los productos ambientales con energía. Sin embargo, estos intentos han sido fallidos debido a que la mayoría de los trabajos consideraban de forma indistinta diferentes tipos de energía. Si bien, la energía es homogénea, ya que siempre puede ser convertida de una a otra; la materia no lo es, ya que existe en numerosas formas cada una con propiedades características (Georgescu-Roegen, 1981). Farber et al. (2002), señalaron esta dificultad de estimar el

consumo total de energía de los combustibles al no tener las mismas cualidades, dando como ejemplo la comparación entre electricidad y el petróleo. La primera es más versátil y limpia en su uso final y menos costosa de producir que el petróleo. (para producir cada kcal de electricidad son necesarias 3-5 kcal de petróleo).

Un planteamiento alternativo dentro de la teoría de valor energía es dado por el economista-ecologista Robert Constanza (1981) entre otros (Constanza and Neill, 1984), quienes más que suponer el contenido de energía de un bien como la base de su valor, asumen los costos de producción en términos de energía. De acuerdo con este autor, una teoría del valor energía (incorporada-embodied) es "...realmente una teoría del costo de producción con todos los gastos llevados a la energía solar necesaria de producirlos" (Constanza, 1981). Estudios han confirmado que el empleo de energía directo e indirecto en los sectores de la economía es buen predictor de la producción total en dólares de aquellos sectores.

Aunque el uso de la energía como medida de valor ambiental ha sido fuertemente criticado, la crítica central al enfoque de energía incorporada es el supuesto en que la energía es la causa exclusiva (última) de valor (Georgescu-Roegen, 1981). Existen algunos insumos dentro de la producción de un bien que son *insustituibles*, esto es, que sin estos insumos, el bien no podría producirse, y como estos insumos son escasos, su precio marginal se incrementa como su costo de energía de producción (Judson, 1989). Ejemplos de tales insumos podrían ser el mercurio, aluminio, y en especial, el agua (en la producción de alimentos).

2.2.3.2. Valoración bajo incertidumbre e irreversibilidad

Es común la falta del consenso en lo referente a las decisiones ambientales tomadas entre distintas disciplinas, por ejemplo, entre la economía y la ecología, en el que el conocimiento impreciso sobre la dinámica de los ecosistemas contribuye a esta situación. Las funciones de los ecosistemas son complejas y aunque ha habido progreso en el entendimiento de la dinámica de los ecosistemas, permanece gran

incertidumbre respecto a su evolución, especialmente, a largo plazo. En muchos de los casos, la razón de ello es que las relaciones entre ciertas variables claves no son conocidas con certeza. En la mayoría de los estudio de valor de los ecosistemas acuáticos, por ejemplo, la relación entre la función y estructura ecológica y la provisión de bienes y servicios del ecosistema a la comunidad es la principal fuente de incertidumbre debido a que el entendimiento de cómo la estructura de un ecosistema es afectado por las actividades humanas y de cómo estos efectos se traducen en cambios en los servicios de los ecosistemas es frecuentemente limitado o rudimentario.

La dinámica de los ecosistemas es altamente no lineal y caótica² (Chavas, 2000) dentro de ciertas regiones, mientras que sus cambios pueden ser dramáticos e irreversibles. De acuerdo con Limburg (2002) existen puntos críticos, o tan llamados umbrales ecológicos, en donde la capacidad de los servicios del ecosistema puede ser drásticamente alterada por los pequeños cambios en las condiciones del ecosistema. En estos puntos, los ecosistemas están sujetos a efectos impredecibles de variables que no son previstas por los tomadores de decisiones, con lo cual es posible que el valor económico de estos bienes y servicios pueda también ser modificado substancialmente por pequeñas alteraciones en el ecosistema porque la vida de los seres humanos o las comunidades puede estar en riesgo. Bajo estas condiciones, las medidas de valor de la teoría monetaria son incapaces de capturar de forma adecuada estos efectos imprevisibles o catastróficos, por ejemplo, el impacto de una inundación.

La existencia de estos puntos críticos dentro de las condiciones y dinámica de los procesos ecológicos genera incertidumbre debido a la carencia de información. Por tal motivo, la valoración de los bienes y servicios ambientales requiere de una estimación bajo incertidumbre. Comúnmente, la incertidumbre es evaluada en términos de probabilidades.

² Un sistema no lineal puede ser caótico, donde la trayectoria a largo plazo de sistema determinista es imprevisible cuando arbitrariamente pequeños cambios en las condiciones iniciales se traducen en grandes cambios de la trayectoria de largo plazo (Chavas, 2000: 11)

Existen numerosos intentos por parte de los economistas y ecologistas para tratar con tal dilema de valoración basados en los métodos de WTP. Cuando la incertidumbre consiste en el desconocimiento de las probabilidades de varios estados ecológicos, la valoración puede hacerse bajo una situación pura de riesgo (Farber et al., 2002). Estos métodos pueden ser válidos, según los economistas, siempre y cuando el costo económico del resultado de valoración no sea demasiado elevado.

Un método sofisticado para incorporar la incertidumbre en el estudio de la valoración de los servicios de los ecosistemas es el uso de la simulación de Monte Carlo. Este método puede proveer una estimación de la distribución de probabilidad de posibles valores, derivada de la incertidumbre sobre los parámetros y relaciones fundamentales. La aplicación de este método, sin embargo, hace necesaria cierta información probabilística sobre los componentes de la valoración (WSTB, 2004).

Sin embargo, la pregunta de las probabilidades son capaces de capturar el papel de la incertidumbre en la toma de decisiones es cuestionable, particularmente en la valoración de eventos no repetibles. Los modelos de evaluación Fuzzy (borrosa) han sido propuestos como alternativa para la evaluación del precio de los recursos hídricos bajo incertidumbre (Jiang, 1998; Wang y Xu, 2003; Li et al., 2005; Zhao y Chen, 2008).

La irreversibilidad tiene importantes implicaciones en la eficiencia de las reglas de decisión bajo incertidumbre (Chavas, 2000). La irreversibilidad ocurre cuando los ecosistemas no pueden escapar de estados particulares no importando la acción que sea tomada. Esto limita la capacidad futura de cambios al ecosistema e implica, al mismo tiempo la irreversibilidad de la evolución económica. Para Georgescu-Roegen, la ley de entropía asegura que las condiciones que ocurren en el mercado en el tiempo $t+1$ sería fundamentalmente alterada por las acciones en el mercado en el tiempo t (Lichtenstein, 1983). Lo anterior supone que el ajuste del

mercado no es automático, y que las decisiones son irrevocables en el tiempo (Judson, 1989:268).

2.2.4. El valor del agua como un sistema complejo

En la sección anterior se mostró que la búsqueda de un patrón común de medida ha sido el objetivo para el esclarecimiento de la teoría del valor. Los economistas clásicos consideraron a los factores de producción como la sustancia común de valor, mientras que los neoclásicos vieron en el concepto de utilidad la fuente invariante de valor, asumiendo su mensurabilidad en el dinero. Por otra parte, algunos estudiosos de las Ciencias Naturales propusieron la energía como el origen del valor. Todos ellos buscaron una base única para explicar el valor. Sin embargo, estas teorías han sido cuestionadas y consideradas como reduccionistas al sólo considerar una dimensión del valor (Georgescu, 1983; Martinez Alier y Schlüpmann, 1991).

En la actualidad, estudios transdisciplinarios como la economía ecológica ha planteado la naturaleza multidimensional del valor (Straton, 2006), que como tal puede no ser reducido necesariamente a una única unidad de valor. De esta forma, se hace necesario el desarrollo de herramientas conceptuales y metodológicas que permitan reflejar esta naturaleza multidimensional del valor.

Lo anterior demuestra la necesidad de un concepto integral de valor así como una estructura metodológica que contemple la cualidad intrínseca del valor y la valoración subjetiva de este e integre los enfoques ecológico y económico para determinar la asignación de los recursos hídricos. En este sentido, la conjetura básica de la presente investigación es que el valor y precio son componentes de un sistema complejo que se derivan del tipo y grado de conexión entre los atributos multiescalares y multitemporales de los recursos hídricos y el sistema socio-económico.

Los sistemas socioeconómicos son sistemas adaptativos complejos que, a su vez, forman un subsistema del sistema adaptativo más complejo, los ecosistemas acuáticos. Los sistemas ecológicos, sociales y económicos están interrelacionados de tal forma que acciones locales e incrementales pueden acumularse y multiplicarse en sorpresas a escala regionales y global (Pritchard et al., 2000).

Un sistema se define como un conjunto de entidades relacionadas entre sí (Langefors, 1995). El comportamiento complejo refleja la tendencia de sistemas grandes con muchos componentes a evolucionar hacia un estado crítico (o punto crítico), donde perturbaciones menores pueden conducir a acontecimientos, llamados avalanchas, de todos los tamaños. La mayor parte de los cambios que ocurren en los puntos críticos son por acontecimientos catastróficos más que graduales o suaves.

De acuerdo con la definición anterior, los sistemas complejos muestran propiedades emergentes (Richardson, 2005), en tanto que existe una relación no-trivial entre los componentes de sistema y sus propiedades macroscópicas.

Algunos autores, como Richardson (2000) y Cilliers (1998) consideran que los sistemas complejos tienen las siguientes características; 1) La memoria, esto es, su comportamiento actual depende de su historia; 2) Un amplio rango de comportamientos cualitativamente distintos; 3) Su evolución es muy sensible a los pequeños cambios así como sumamente elástico a grandes cambios y se descomponen.

Partiendo de esta definición y aceptando que el sistema de los recursos hídricos, así como el económico y social asociados son sistemas que se relacionan de una forma no trivial en el mercado del agua, definimos al precio ecológico del agua como un sistema complejo cuyos atributos ecológicos, económicos y sociales

tienen como rasgo principal la universalidad y invariancia al escalo; son atributos que se derivan de otros numerosos atributos que integran dentro de un sólo valor.

Las unidades de medida de las variables seleccionadas son heterogéneas. Para representar los atributos del sistema del precio ecológico del agua, se busca una medida unificadora de los bancos de datos para su análisis conjunto. En este trabajo se comparan tres medidas integradoras de los bancos de datos de los atributos del PREDA, referidas todas ellas al análisis de los valores. La primera de ellas es la rugosidad, expresada en términos del exponente de Hurst (H). La segunda es la volatilidad, que mide las oscilaciones de los valores de la distribución de datos y se define como la desviación estándar del cambio en el valor de la variable de interés con respecto a un intervalo de tiempo.

III. OBJETIVOS Y HIPOTESIS

3.1. Objetivo General:

El objetivo de este trabajo es definir el concepto del Precio Ecológico del Agua (PREDA) y diseñar un modelo probabilístico del tipo Pareto para su medición.

3.1.1. Objetivos específicos:

- a. Seleccionar un conjunto de variables ecológicas, físicas, económicas y estadísticas que integran los principales atributos del agua como un sistema complejo a diferentes escalas del tiempo y espacio y determinan su precio ecológico.
- b. Definir el concepto del precio ecológico del agua (PREDA) en términos de los atributos económicos, ecológicos, econofísicos y estadísticos seleccionados.
- c. Diseñar un modelo probabilístico del tipo Pareto para calcular el precio ecológico del agua en diferentes sistemas, integrando los principales rasgos de la complejidad de este recurso natural no renovable.
- d. Elaborar un marco teórico metodológico para el análisis del comportamiento del mercado del agua y su relación con la disponibilidad de este recurso hídrico, así como su dinámica en el espacio y tiempo a diferentes escalas.

Introducción a la Hipótesis General

Uno de los pilares fundamentales de la Economía Moderna es la Hipótesis Del Mercado Eficiente (EMH). La esencia y significado de la EMH es que el stock de

precios refleja toda la información útil disponible en la evaluación de su valor (Zhang, 1999; Couillard, Davison, 2005). En el presente trabajo se propone la Hipótesis del Mercado Complejo Sustentable (SCMH), la cual se plantea en los siguientes términos:

3.2. Hipótesis General:

El precio ecológico del agua puede ser definido en el marco de la teoría de los sistemas complejos, invariantes al escalado (auto-similares) y compuestos por un gran número de objetos tanto físicos, como económicos y sociales, vía las leyes de potencia universales.

3.2.1. Hipótesis específicas:

- a. El agua es un sistema complejo y multiescalar cuyo comportamiento ecológico, económico y social se deriva de su naturaleza física anómala, no lineal.

La siguiente hipótesis específica la llamamos *la H de 3C*, y la describimos en los siguientes términos:

- b. Las tres variables adimensionales: la complejidad ecológica (C_{ec}), la complejidad estructural (C_{str}) y la complejidad estadística (C_{std}) son suficientes para integrar la información polifacética y multiescalar sobre el comportamiento del agua en diversos sistemas interrelacionados y medirla mediante una sola variable: el precio ecológico del agua.
- c. La caja de herramientas analíticas de la estadística física y específicamente de la Econofísica, son útiles para medir la rugosidad y volatilidad de las series de tiempo de los atributos básicos del agua como un sistema complejo, siendo el exponente de Hurst, una medida fractal básica del modelo de PREDA.

- d. La complejidad estadística es la variable de naturaleza jerárquica superior que integra la complejidad ecológica y estructural del agua como un sistema complejo, que puede ser recomendada como la medida básica de las fluctuaciones y por ende de la volatilidad del agua a diferentes escalas, incluyendo el mercado.

IV. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

El objetivo del siguiente capítulo es definir los conceptos y herramientas analíticas que son esenciales para construir el modelo para el cálculo del precio ecológico del agua como un sistema complejo.

Partiendo del análisis de los atributos que intervienen en la formación del precio ecológico del agua (PREDA) expuesta en el capítulo II, el PREDA se formuló como una función discreta que cuantifica los aspectos ecológicos, físicos, económicos y sociales arriba especificados:

$$PREDA = \sum_{i=1}^n (x_i, w_i),$$

donde, x_i , corresponde a cada uno de los factores considerados como determinantes del PREDA; w_i , es el peso o la ponderación de cada atributo de acuerdo al grado de influencia que éste tiene sobre el precio ecológico del agua, y n es el total de los atributos considerados dentro del PREDA.

El modelo conceptual propuesto para la medición del PREDA se alimenta de datos en forma de series de tiempo, y se dirige a la extracción de las tendencias de la dinámica de los atributos seleccionados, así como de sus componentes periódicos y estocásticos y definición del patrón estructural típico.

4.1. Series de tiempo

En la mayoría de las áreas de conocimiento las variables de interés son obtenidas en intervalos de tiempo sucesivos, ya sea a escala horaria, mensuales, trimestrales, anuales o bien se registran de forma continua a través de algún instrumento de medición. En el primero de los casos, los datos forman las series de tiempo

discretas, mientras que en el segundo son continuas. Algunos ejemplos de series de tiempo son los registros de datos climáticos, como la temperatura máxima, la precipitación anual, los índices de mercado de valores, el volumen de ventas diarias de una mercancía, el Producto Interno Bruto trimestral, y la densidad de población anual.

De este modo, en términos formales, serie de tiempo se define como conjunto de mediciones de cierto fenómeno o experimento, colectadas secuencialmente en el tiempo, usualmente espaciados a intervalos iguales (Weisstein, 2008). Estas observaciones se denotan por:

$$\{x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)\} = \{x(t) : t \in T \subseteq R\},$$

donde $x(t_i)$ es el valor de la variable x en el instante t_i . Si $T = Z$ se dice que la serie de tiempo es discreta y si $T = R$ se dice que la serie de tiempo es continua. Cuando $t_{i+1} - t_i = k$ para todo $i = 1, \dots, n-1$, la serie es equiespaciada, en caso contrario es no equiespaciada (Arellano, 2001).

El análisis de series de tiempo es útil para describir los procesos a partir de los atributos (Weisstein, 2008), así como para encontrar un dato en el momento en el cual este no fue recolectado. Lo último es importante para hacer interpolaciones y extrapolaciones o pronosticar los valores del atributo estudiado a futuro (Korvin, 1996), lo cual es útil para detectar cualquier cambio en los patrones estructurales de la información estadística y por lo tanto a manejar la incertidumbre asociada con los acontecimientos futuros.

La caracterización de una serie de tiempo se dirige a la identificación de sus componentes principales y se efectúa mediante la combinación de fases de análisis (Malamud y Turcotte, 1999):

- a. **Descripción y extracción de las tendencias.** En términos intuitivos, la tendencia de una serie de tiempo caracteriza el patrón gradual y consistente de sus variaciones que se consideran consecuencias persistentes y que afectan el crecimiento o la reducción de la misma; y a nivel intuitivo la tendencia se define como el cambio de la media a lo largo de un periodo.
- b. **Identificación de los componentes periódicos** (uno o más). Un componente de la serie de tiempo que representa la variabilidad de los datos debido a influencias estacionales, es referido en la literatura como componente estacional. Esta variación corresponde a los movimientos de la serie que ocurren periódicamente (a escala diaria, semanales, mensuales,...) año tras año más o menos con la misma intensidad. Una de las causas más importantes de estas variaciones son las condiciones climáticas. Un ejemplo de este tipo del componente es el consumo de electricidad mensual, cuya demanda se incrementa en invierno. Otro componente periódico, es el componente cíclico. Con frecuencia las series de tiempo presentan secuencias alternas de valores altos y bajos alrededor de la línea de tendencia general cuyo carácter se estudia en periodos más largos que un año. Un ejemplo de este tipo de variación son las fases del ciclo económico: crisis o depresión, recuperación, auge y recesión.
- c. **Reconocimiento del componente estocástico.** Este componente se refiere a los factores imprevisibles y no recurrentes de la serie de tiempo. Como las variaciones irregulares causadas por acontecimientos especiales, fácilmente identificables: las inundaciones, los terremotos o las elecciones o huelgas. Y a otro tipo de variaciones, conocidas como *outliers*. Un outlier se define como la observación dentro de la serie de tiempo que corresponde a un comportamiento que escapa de la regularidad estadística general de la serie (Stanley et al. 2008).

Es importante notar que una serie de tiempo representa la sucesión de observaciones generadas por un proceso estocástico, cuyo índice se toma con relación al tiempo, lo cual significa que bien pudo haberse observado otra realización del mismo proceso, pero cuyo comportamiento fuese distinto del que se al observó en la realidad. Lo señalado denota el elemento probabilístico presente en una serie de tiempo, el cual llevará a tener en cuenta la función de densidad conjunta de las variables aleatorias que constituyen el proceso estocástico (Guerrero, 2003).

Lo anterior hace necesario describir una serie de tiempo dentro del contexto de los procesos estocásticos, pero antes se debe especificar que se entiende por el proceso estocástico.

4.2. Series de tiempo vistas como procesos estocásticos

Korvin (1996) define un *proceso estocástico* $\{x(t)\}_\alpha$, o a la también llamada función aleatoria, como una familia de funciones de valores reales, o complejos, que dependen de un parámetro α , en el que t representa el tiempo. Una función dada $x(t)$ seleccionada aleatoriamente entre todas las $\{x(t)\}_\alpha$ será definida como una *realización del proceso*. Para algún valor fijo de t , por decir t_1 , $x(t_1)$ es una *variable aleatoria*, lo cual significa que $x(t_1)$ puede tener los diferentes valores x_1 con la probabilidad:

$$\text{Pr ob}[x_1 \leq x(t_1) \leq x_1 + dx_1] = f(t_1, x_1)dx_1.$$

Para una caracterización completa de la función aleatoria son necesarias todas las *funciones de densidad de probabilidades de múltiples puntos*.

$$\text{Pr ob}[x_1 \leq x(t_1) \leq x_1 + dx_1, \dots, x_n \leq x(t_N) \leq x_N + dx_N] = f_N(t_1, \dots, t_N; x_1, \dots, x_N) dx_1 dx_2 \dots dx_N.$$

Siendo g una función arbitraria de N variables, el promedio de la expresión $g[x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_N)]$ sobre el conjunto de realizaciones esta dado por:

$$\langle g[x(t_1), \dots, x(t_N)] \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} g(x_1, \dots, x_N) f_N(t_1, \dots, t_N; x_1, \dots, x_N) dx_1 \dots dx_N,$$

donde x_1, \dots, x_N son las variables de integración, es decir, generalmente $\langle g \rangle$ depende de t_1, t_2, \dots, x_N .

Para fines prácticos, para caracterizar la función aleatoria son suficientes: los siguientes valores promedios, conocidos como media, media cuadrática, y función de autocorrelación, respectivamente:

$$\langle x(t_1) \rangle, \langle x^2(t_1) \rangle, \langle x(t_1)x(t_2) \rangle.$$

Para una realización arbitraria del proceso estocástico $x(t)$, el tiempo promedio de la expresión $g(x(t))$ se define como:

$$E\{g[x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_N)]\} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T g[x(t_1 + t), \dots, x(t_N + t)] dt.$$

Un proceso estocástico es estacionario $\{x(t)\}_\alpha$ si sus propiedades estadísticas no cambian en el tiempo, es decir, si

$$\forall N, \forall t_1, t_2, \dots, t_N, \forall x_1, x_2, \dots, x_N \text{ y } \forall \tau$$

(donde \forall significa para todo) la función de densidad de probabilidad (pdf) es invariante en el tiempo, esto es, sí:

$$f_N(t_1 + \tau, t_2 + \tau, \dots, t_N + \tau; x_1, x_2, \dots, x_N) \equiv f_N(t_1, t_2, \dots, t_N; x_1, x_2, \dots, x_N).$$

Lo anterior implica que, para cualquier función g

$$\langle g[x(t + \tau_1), \dots, x(t + \tau_N)] \rangle \equiv \langle g[x(\tau_1), \dots, x(\tau_N)] \rangle.$$

En particular, si $\tau = -t_1$, se obtiene

$$\langle x(t_1) \rangle = \langle x(0) \rangle,$$

$$\langle x^2(t_1) \rangle = \langle x^2(0) \rangle,$$

$$R_{xx}(t_1, t_2) = \langle x(t_1)x(t_2) \rangle = \langle x(0)x(t_2 - t_1) \rangle \equiv R(t_2 - t_1),$$

esto es, la media y la media cuadrática de un proceso estacionario son constantes en el tiempo, mientras que la función de autocorrelación depende sólo de la diferencia de sus argumentos (Korvin, 1996).

4.3. Elementos de la teoría de probabilidades

4.3.1 Histograma

Una herramienta estadística comúnmente empleada para representar la distribución de los datos empíricos es el histograma, que es la gráfica que agrupa los datos dentro de intervalos (Figura 4.1). Para esto, el rango de valores observados de x_1, x_2, \dots, x_n se divide en k partes iguales y se calcula el número de observaciones n_i en el intervalo i, llamado frecuencia, o frecuencia relativa n_i/n (Korvin, 1996).

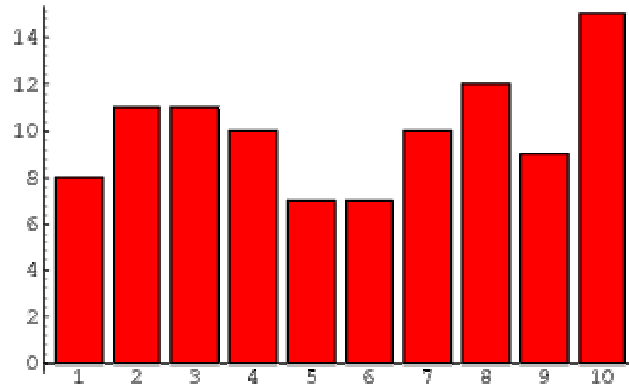


Figura 4.1. Histograma (Weisstein, 2008).

4.3.2. Función de densidad de probabilidades

Una función de densidad de probabilidad (*pdf*), $p_X(x)$ asociado a una variable aleatoria discreta X , es la suma de todas las posibles probabilidades asociadas con resultados en el espacio muestral S trazados en x por la variable aleatoria X :

$$p_X(x) = P(X = x),$$

donde, $p_X(x)$ es la probabilidad de que la variable aleatoria X asuma el valor x (Larsen y Marx, 2001).

Para una variable aleatoria continua X , la función $f(x)$ es su función de densidad de probabilidades, si la probabilidad de que una variable aleatoria X quede contenida en un intervalo $(x, x + dx)$ es $f(x)dx$:

$$\text{Prob}(x \leq X \leq x + dx) = f(x)dx \quad (\text{Korvin, 1996}).$$

Propiedades básicas de la función de probabilidades son:

1. Es una función no negativa

$$f(x) \geq 0 \quad \text{para toda } x;$$

2. El área total bajo la curva es igual a 1:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1.$$

Una de las distribuciones teóricas más estudiadas en los textos de estadística clásica, y más utilizada en la práctica, es la distribución normal, también llamada distribución Gaussiana. El uso amplio de la distribución normal en aplicaciones estadísticas en las Ciencias Sociales se debe a que muchos de los procedimientos estadísticos habitualmente empleados asumen la normalidad de los datos observados, aunque muchas de estas técnicas no son demasiado sensibles a las desviaciones de la función de la normal. La simple exploración visual del histograma puede sugerir la forma de su distribución. No obstante, existen otras medidas, gráficos de normalidad y contrastes de hipótesis que pueden ayudar a decidir, de un modo más riguroso, si la muestra de la que se dispone procede o no de una distribución normal. A continuación se describe la distribución normal estándar, su ecuación matemática y sus propiedades más relevantes con el propósito de utilizarla como una función de referencia durante el estudio.

La distribución de una variable aleatoria X , con media μ y varianza σ^2 , se distribuye mediante la siguiente función de densidad de probabilidades (pdf) es:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2 / 2\sigma^2},$$

Dentro de un dominio $x \in (-\infty, \infty)$.

La tan llamada *distribución estándar normal* se caracteriza por tener la media igual a cero ($\mu=0$) y desviación estándar igual a 1 ($\sigma=1$).

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}.$$

La función de distribución acumulativa es también llamada probabilidad integral y se define como:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-u^2/2} du$$

Entre las propiedades de la distribución normal se destacan:

- La forma de campana;
- Es una función simétrica (skew=0)
- Curtosis=3;
- 68 por ciento de los valores observados caen dentro de la *media*± σ ;
- 95 por ciento de los valores observados caen dentro de la *media*± 2σ .



Figura 4.2. Función de distribución y función acumulativa normal (Weisstein, 2008)

Los resultados presentados en los trabajos de Econofísica demuestran que muchos de los fenómenos económicos presentan distribuciones que obedecen a las leyes de escalado más que la normalidad Gaussiana (Stanley et al., 1996; Giardina, 2001; Marsili, 2003; Plerou et al., 2002; Raberto et al., 2002; Wang, et al., 2006) de ahí que un tema recurrente es la insistencia en que teoría económica neoclásica ha sido inadecuada o insuficiente para explicar las distribuciones no-Gaussianas observadas en varios fenómenos económicos, especialmente en tales como las distribuciones excesivamente asimétricas y leptocúrticas o de colas

pesadas (fat tails) (McCauley, 2004). Paradójicamente, la primera versión de distribución de ley de potencia (power law) fue descubierta por el economista matemático y sociólogo Vilfredo Pareto (1897).

La ley de Pareto establece que la distribución acumulada $N_p(>x)$ obedece a una ley de potencia para el ingreso x que es mayor que un umbral observado x_0 :

$$N_p(>x) \propto x^{-\mu} \text{ para } x > x_0,$$

donde el exponente μ es llamado índice de Pareto.

4.3.3. Medidas de tendencia central

Las medidas de tendencia central corresponden a valores que generalmente se ubican en la parte central de un conjunto de datos y permiten analizar la distribución de los datos en torno a un valor central). Entre éstas se encuentra la media aritmética, la moda y la mediana.

La media, el promedio, el valor esperado y la esperanza de una variable aleatoria X con pdf $f(x)$ se denotan como EX , \bar{X} , $\langle X \rangle$, X_0 , respectivamente donde EX se define como:

$$EX = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

La moda es el valor más frecuente de la variable aleatoria y corresponde a un máximo local de $f(x)$. Cuando la distribución presenta sólo un máximo local, la distribución se le denomina unimodal; pero puede ser bimodal o multimodal (Figura 4.3).

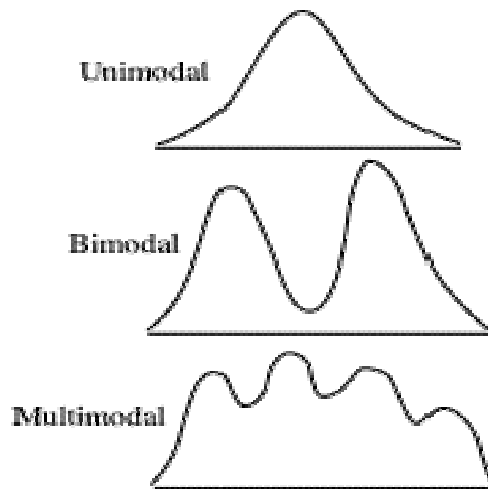


Figura 4.3. Tipos de distribución de acuerdo al número de modas que presentan.

La mediana, m , de una variable aleatoria X satisface la siguiente igualdad:

$$\Pr ob(X \leq m) = \Pr ob(X \geq m) = \frac{1}{2}$$

Para un número impar de datos de una muestra, $2k + 1$, de una variable aleatoria X con pdf $f(x)$, ordenados de forma ascendente tal que:

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_k \leq x_{k+1} \leq x_{k+2} \leq \dots \leq x_{2k+1},$$

la mediana es la mitad de ese número, x_{k+1} . Si, por el contrario, tenemos un número par de datos en una muestra, $2k$, la mediana es definida como $(x_k + x_{k+1})/2$.

Para las distribuciones simétricas, la moda, media y mediana son iguales, no siendo necesariamente así, en el caso de las distribuciones asimétricas.

4.3.4. Momentos centrales

Son cuatro los momentos centrales que se utilizan en la teoría de probabilidades y en la estadística para caracterizar la distribución de probabilidades de una variable aleatoria.

- Momento central de primer orden (media):

$$\mu_1 = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx .$$

- Momento central de segundo orden (desviación estándar):

$$\mu_2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_1)^2 f(x)dx .$$

Nótese que su raíz cuadrada positiva es la dispersión y se denota por σ .

- Momento central de tercer orden:

$$\mu_3 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_1)^3 f(x)dx .$$

El μ_3 se utiliza para determinar la asimetría de una distribución, la cual se calcula como $asimetría = (media - moda) / \sigma$ o bien, $asimetría = \mu_3 / \mu_2^{3/2}$ y mide el grado de deformación de la distribución con respecto a una estándar. Para distribuciones simétricas, $\mu_3 = 0$, esto es, el coeficiente de asimetría es siempre igual a cero.

- Momento central del cuarto orden:

$$\mu_4 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_1)^4 f(x) dx,$$

define la curtosis del pdf, la cual mide cuán puntiaguda es una distribución (ver Figura 4.4) y es definida según la siguiente ecuación: $curtosis = (\mu_4 / \mu_2^2)$. La curtosis es siempre ≥ 1 . en el caso de la distribución normal, su valor es igual exactamente a 3. Una forma alternativa para expresar la curtosis, presentada en varios textos estadísticos es: $curtosis = (\mu_4 / \mu_2^2) - 3$. En este caso la sustracción se explica como una corrección hecha por la curtosis de la distribución normal, lo cual es igual a cero.

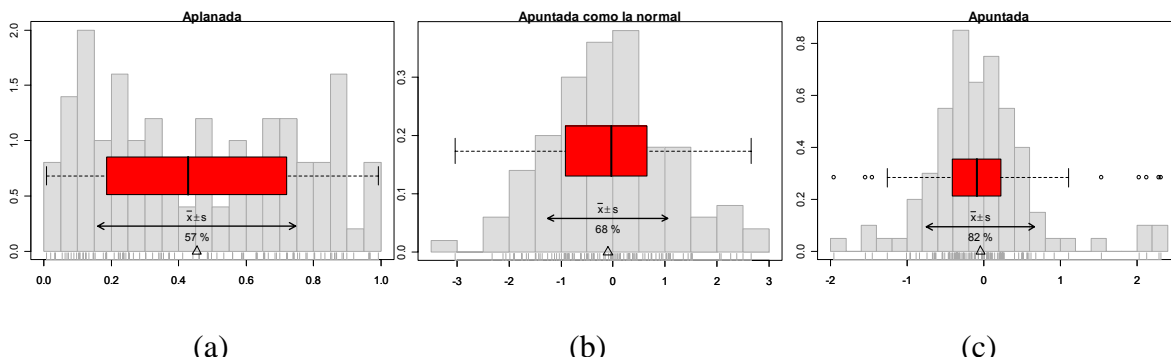


Figura 4.4. (a) Distribución platocúrtica, (b) distribución mesocúrtica, (c) distribución leptocúrtica.

4.4. Análisis del grado de aleatoriedad (rugosidad) de las series de tiempo

Dado que el presente estudio pretende analizar el comportamiento de las series de tiempo de los atributos que componen al PREDA, un concepto básico del análisis estadístico será la invariancia al escalado o auto-similitud. Este concepto describe similar comportamiento en términos morfológicos o estadísticos (momentos centrales de diferente orden) de las series de tiempo dentro de un rango de escalas dado, que normalmente incluye las escalas micro macro y mega. En este trabajo, la autosimilitud o la invariancia al escalado hace referencia a la semejanza que existe

en el comportamiento de las fluctuaciones del precio ecológico del agua a distancias cortas y largas, así como a la semejanza de las oscilaciones de los atributos ecológicos, económicos y sociales de interés para la presente investigación.

En el trabajo de Stanley (2003) se describen los resultados del análisis del mercado financiero realizado por Plerou et al. (1999), de cuyos datos se concluye que el comportamiento de los precios en el mercado es una alternación entre la fase de equilibrio donde el mercado se aproxima a la igualdad entre la compra y la venta y, la fase de desequilibrio cuando el mercado esta principalmente comprando o vendiendo. Es decir, en el comportamiento de precios siempre existe una guerra entre el caos y aleatoriedad, que da origen al fenómeno de aleatoriedad correlacionada (Stanley, 2005).

Una técnica probabilística que se emplea para medir el grado de orden o desorden de los datos dentro de series de tiempo es el exponente de Hurst el cual mide el grado de correlación que existe entre ellos (Mandelbrot, 2002).

H. E. Hurst dedicó una parte importante de su vida a diseñar la presa de Assuan. Con este fin, estudió las series temporales del caudal del río Nilo y los problemas relacionados con el almacenamiento de agua, para lo cual midió cómo fluctuaban a través del tiempo los niveles alrededor del nivel promedio. Dado que el rango de fluctuación variaba en función del lapso de tiempo utilizando para medirlo, Hurst creó una medida estandarizada, conocida actualmente como análisis de rango re-escalado o análisis R/S (Hurst, 1965).

El rango re-escalado se define como:

$$R/S(w) = \left\langle \frac{R(w)}{S(w)} \right\rangle,$$

donde $R(w)$ se refiere al rango que toman los valores de interés dentro de cada intervalo de longitud w . El rango señalado refleja la tendencia de fluctuación de los datos de la variable dentro de la ventana de longitud w . Dicha tendencia se estima gradualmente a lo largo de la línea que conecta el primer punto de la serie de tiempo con el último y cuya longitud de las ventadas (w) va dividiéndose. $S(w)$ es la desviación estándar de los valores para cada tamaño de ventana w , mientras que $\langle \cdot \rangle$ denota el promedio de la relación adimensional $R(w)/S(w)$.

Hurst observó que la relación R/S estaba bien descrita para un número considerable de fenómenos, por una ecuación de forma:

$$R/S = (\tau/2)^H,$$

donde τ es el periodo de tiempo analizado, y H el exponente de Hurst.

Un exponente de Hurst en el rango $0.5 < H < 1$ corresponde a series de tiempo con persistencia (correlación positiva), mientras que los valores tales que $0 < H < 0.5$ corresponden a un comportamiento antipersistente (correlación negativa). Cuando H es igual a 0.5, las series de tiempo describen los caminos Brownianos aleatorios (correlación nula o ruido blanco).

La exactitud de dicha técnica fue documentada en un estudio de las series financieras en Alemania por Carbone et al. (2004), que calcularon el exponente de Hurst (H) para series artificiales simulando un patrón de caminos Brownianos aleatorios. El resultado de dicha modelación fue el exponente de Hurst (H) igual a 0.5, valor correspondiente al movimiento browniano clásico o ruido blanco.

En diversos trabajos se ha cuestionado la hipótesis principal de las finanzas cuantitativas que propone que las variaciones de los precios son generadas por un proceso aleatorio sin memoria a largo plazo, por lo cual pueden ser modelados usando el movimiento Browniano (Couillard and Davison, 2005).

4.5. Volatilidad

Los físicos están cada vez más interesados en el análisis de las series de tiempo económicas, entre otras razones, porque éstas dependen de la evolución de un gran número de sistemas que interactúan, y son también un ejemplo de sistemas complejos evolutivos ampliamente estudiados en física (Liu et al., 1999). Por consiguiente, un gran número de métodos desarrollados en la Física Estadística han sido aplicados para caracterizar el comportamiento de series económicas tales como los índices del mercado de valores, los volúmenes de venta y las tasas de cambio, entre otras.

Estudios anteriores realizados en la Econofísica han mostrado que el proceso estocástico implícito en los cambios de precio es caracterizado por varias características la distribución de los cambios de precios tiene colas pronunciadas en contraste con una distribución Gaussiana.

El término de volatilidad representa una medida genérica de la magnitud de las fluctuaciones del mercado. La volatilidad es de interés debido a que cuantifica el riesgo. Muchas definiciones cuantitativas son usadas en la literatura. En este estudio, la volatilidad es definida como la desviación estándar de la tasa del retorno de los datos:

$$\sigma_{\Delta}(t, T) = \left\langle \left[r_{\Delta}(t) - \langle r_{\Delta}(t) \rangle_T \right]^2 \right\rangle_T^{1/2},$$

donde, $\langle \cdot \rangle$ denota el promedio de los datos dentro de una ventana de tiempo corregida de tamaño T (sobre un tiempo t) y r es el logaritmo de los retornos sobre un horizonte de tiempo Δt expresados como:

$$r_{\Delta}(t) = s(t + \Delta t) - s(t) = \ln \left(\frac{S(t + \Delta t)}{S(t)} \right),$$

donde, S denota los precios en el tiempo t y s su logaritmo (Simonsen, 2005).

En este trabajo la propuesta de usar la volatilidad como medida de las variables de entrada del PREDA como un importante indicador del riesgo del mercado del agua, así como un importante factor para la determinación del valor/precio económico y ecológico de los recursos hídricos.

4.6. Grado de Complejidad

Como consecuencia de la complejidad en la dinámica de los sistemas socioeconómicos y en su interacción con los ecosistemas, en el estudio de los problemas ambientales a escalas local y global ha surgido la necesidad del desarrollo de herramientas matemáticas, estadísticas y computacionales (Green et al. 2005) que describan comportamiento de estos sistemas heterogéneos para la comprensión de las fuerzas que los organizan a través del tiempo y el espacio (Brown et al., 2002). Todo ello con el objetivo de resolver problemas en la conservación y el manejo de los recursos naturales.

En Física, la noción de complejidad inicia al considerar al cristal perfecto y al gas ideal aislado, dos ejemplos de modelos simples (cuya complejidad es cero). Por una parte, el cristal perfecto presenta una estructura completamente ordenada, donde el arreglo de los átomos sigue estrictas reglas de simetría. La distribución de probabilidad de los estados del cristal perfecto está centrada alrededor de un estado predominante de simetría perfecta. En este caso, la información almacenada en este sistema puede ser considerada mínima. Por otra parte, el movimiento de las moléculas del gas ideal aislado es desordenado. El sistema puede ser encontrado en cualquiera de sus estados dado que tienen la misma probabilidad de ocurrencia. En el gas ideal, todos los estados contribuyen en igual medida a la información almacenada en él. Estos dos sistemas son casos extremos en la escala de orden e información (López-Ruiz et al., 1995).

Tanto en aleatoriedad máxima como en completo orden los sistemas no poseen estructura (Crutchfield and K. Young, 1989). No obstante, en un nivel dado

de aleatoriedad, fuera de estos dos extremos, puede haber un amplia gama de procesos estructurados de manera diferente (Feldman, 1998). Motivo por el cual ha habido considerables esfuerzos por desarrollar una medida que cuantifique el grado de estructura o patrón presente en un proceso.

La Física teórica ha tenido la entropía como una medida general de la incertidumbre asociada a procesos probabilísticos. Esta medida, originalmente introducida por Ludwig Boltzman hace más de un siglo, conocida como la entropía de Shanon es usada para describir la incertidumbre de sistemas dinámicos. Algunas otras medidas tales como la entropía métrica, el exponente de Lyapunov y la dimensión fractal también han sido usadas en la Física para detectar la presencia y cuantificar el grado del comportamiento caótico (Feldman et al. 1998). La entropía como medida de aleatoriedad e incertidumbre, sin embargo, es inadecuada para capturar la estructura correlacional en el comportamiento de los sistemas.

En las décadas pasadas, han sido propuestas diferentes métodos para detectar y medir el grado de estructura o correlación presente en un proceso. Estos indicadores propuestos como medidas generales de estructura son referidos como medidas de complejidad y aunque algunas de ellas parecen ser más populares que otras, hasta la fecha, no existe una definición precisa (Anteneodo and Plastino, 1996) ni universal (Martin et al., 2006). Medidas tales como la profundidad lógica de Bennet (1988), la Información algorítmica, también llamada entropía algorítmica o complejidad de Kolmogorov-Chaitin (Chaitin, 1966; Kolmogorov, 1965), Información Remota Mutua, la profundidad termodinámica (Lloyd and Pagels, 1988), la complejidad estocástica (Rissanen, 1989; 1996), el exceso de entropía y la medida efectiva de complejidad (Grassberger, 1986), aumentan potencialmente en temas de Física Estadística y teoría de la computación (Bennet, 1990:144; Lòpez-Ruiz et al., 1995: 325). Estas medidas han mostrado ser muy útiles para describir la dinámica simbólica de mapas caóticos, sin embargo, es muy difícil su cálculo.

Recientemente, nuevas definiciones de complejidad, basadas en cantidades que pueden ser calculadas directamente de la función de distribución que describe al sistema, se han introducido. Una de ellas basada en la metaestadística (Atmanspacher et al. 1997) y otra en la noción de desequilibrio (López-Ruiz et al., 1995). Estas medidas de complejidad tienen la ventaja de poder ser calculadas más fácilmente debido a que son evaluadas en términos de mecánica estadística (Calbet, 2001; Martin et al., 2006).

V. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

En el capítulo presente se describen los resultados de aplicación de la caja de herramientas estadísticas y fractales al análisis de las series de tiempo de las cuotas para el suministro de agua en los distritos de riego. Se realizó un análisis multiescalar de correlación entre el exponente de Hurst y la volatilidad y entre cuatro momentos centrales (M) de las distribuciones de variables estocásticas, llamados **los descriptores estadísticos**, seleccionadas para el análisis de las variables de interés: la media (M_1), varianza (M_2), asimetría (*skewness*, M_3) y curtosis (M_4).

La variación existente en las cuotas fijadas por unidad o módulo en cada uno de los distrito de riego de la República Mexicana a través del periodo 2003-2007 es descrita Figura 5.1. Esta muestra el sistema de cuotas para el suministro de agua en los distritos de riego del país aplicadas por la Comisión Nacional de Agua (CNA) para el periodo de octubre-diciembre de 2002 a octubre-diciembre de 2007. Debido a la forma en la que están organizada la gestión de cuotas de los distritos de riego, los datos son presentados por 2 periodos, correspondientes a enero-septiembre y octubre diciembre. El conjunto de datos analizados consiste en un total de $N=1850$ muestras, correspondientes a las cuotas en el periodo señalado de 185 unidades de riego de los distritos de riego para los estados de Chiapas, Chihuahua, Colima, Guerrero, Hidalgo, México, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Querétaro, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala y Veracruz.

Dado que nuestro objetivo es revelar las propiedades estadísticas de las series de tiempo de los atributos del PREDA, en el trabajo presente analizamos las fluctuaciones de las cuotas para los distintos módulos de los distritos de riego, como un ejemplo de la metodología propuesta. Para dicho análisis, una medida útil para unificar los bancos de datos de las variaciones de precios es la volatilidad histórica, la cual mide la rugosidad de la distribución de los datos y es definida

como la desviación estándar de la tasa de su retorno en un horizonte de tiempo dado:

$$\sigma_{\Delta t}(t, T) = \left\langle \left[r_{\Delta t}(t) - \langle r_{\Delta t}(t) \rangle_T \right]^2 \right\rangle_T^{1/2},$$

donde, $\langle \cdot \rangle$ denota el promedio de los datos dentro de una ventana de tiempo corregida de tamaño T (sobre un tiempo t) y r es el logaritmo de los retornos sobre un horizonte de tiempo Δt expresados como:

$$r_{\Delta t}(t) = s(t + \Delta t) - s(t) = \ln \left(\frac{S(t + \Delta t)}{S(t)} \right),$$

donde, S denota los precios en el tiempo t y s su logaritmo. El beneficio de utilizar los retornos logarítmicos es que son variables estocásticas aditivas. Los retornos simples, por otra parte, no comparten esta propiedad (Simonsen, 2005).

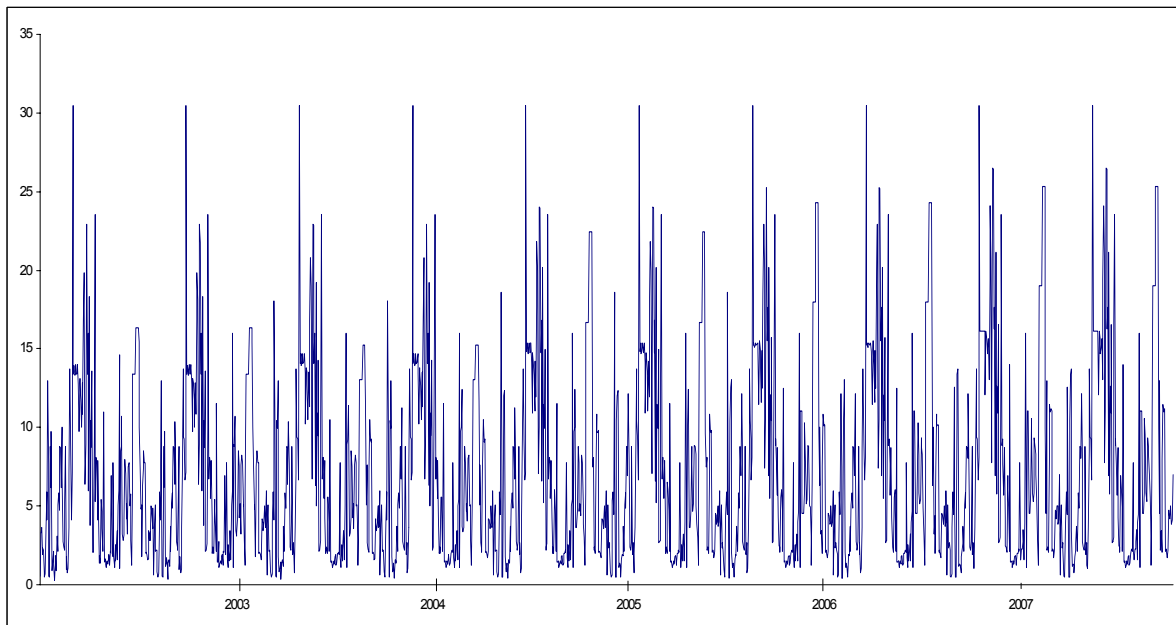


Figura 5.1. Sistema de cuotas para los distritos de riego de los estados seleccionados de 2003 a 2007.

Con la ecuación descrita anteriormente se calculó la volatilidad histórica para cada uno de los estados seleccionados. Los resultados se muestran en la tabla 5.1, para un $\Delta t=T=5$ años y un $\Delta t=T=1$ año y de manera visual, estos mismos resultados se muestran en la Figura 5.2 y 5.3.

Tabla 5.1. Volatilidad histórica para un $\Delta t=T=5$ años y un $\Delta t=T=1$ año de las cuotas para los distritos de riego por entidad federativa.

	Volatilidad 2003-2007	Volatilidad 2003-2004	Volatilidad 2004-2005	Volatilidad 2005-2006	Volatilidad 2006-2007
Chiapas	0.21	0.09	0.07	0.22	0.32
Chihuahua	0.17	0.18	0.17	0.12	0.13
Colima	0.25	0.40	0.14	0.13	0.19
Guerrero	0.04	0.05	0.03	0.02	0.04
Hidalgo	0.22	0.30	0.23	0.16	0.16
Estado de México	0.08	0.13	0.07	0.05	0.03
Jalisco	0.04	0.04	0.03	0.03	0.06
Michoacán	0.15	0.27	0.04	0.07	0.05
Michoacán ^a	0.11	0.15	0.05	0.12	0.09
Michoacán ^b	0.09	0.11	0.00	0.10	0.00
Michoacán ^c	0.16	0.31	0.04	0.02	0.03
Morelos	0.13	0.00	0.00	0.00	0.19
Nayarit	0.07	0.03	0.09	0.09	0.05
Querétaro	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00
Sinaloa	0.08	0.05	0.07	0.10	0.04
Sonora	0.13	0.04	0.14	0.11	0.14
Tamaulipas	0.21	0.27	0.18	0.13	0.15
Tlaxcala	0.05	0.07	0.06	0.01	0.02
Veracruz	0.08	0.14	0.03	0.03	0.07

^a Entrega de agua por bombeo

^b Entrega de agua por gravedad

^c Entrega de agua en bloque

Los estados que presentan mayor índice volatilidad son los estados de Chiapas, Colima, Hidalgo y Tamaulipas, mientras que Guerrero, Jalisco, Nayarit y Veracruz muestran menores fluctuaciones, lo cual se ve reflejado a través del bajo valor de este indicador (Ver Figura 5.2).

Los valores altos de la volatilidad se deben a fuertes variaciones espacio-temporales que registraron el primer grupo de entidades federativas mencionadas entre los distritos de riego que las conforman (Ver Figura 5.3).

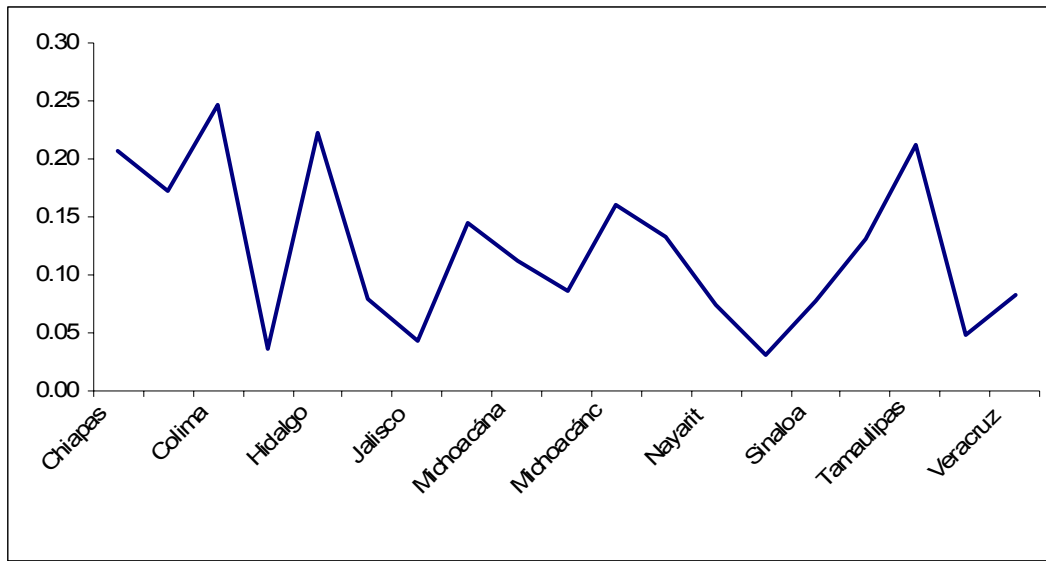


Figura 5.2. Volatilidad histórica de las cuotas por distrito de riego para las entidades federativas de la República Mexicana seleccionadas, periodo 2003-2007.

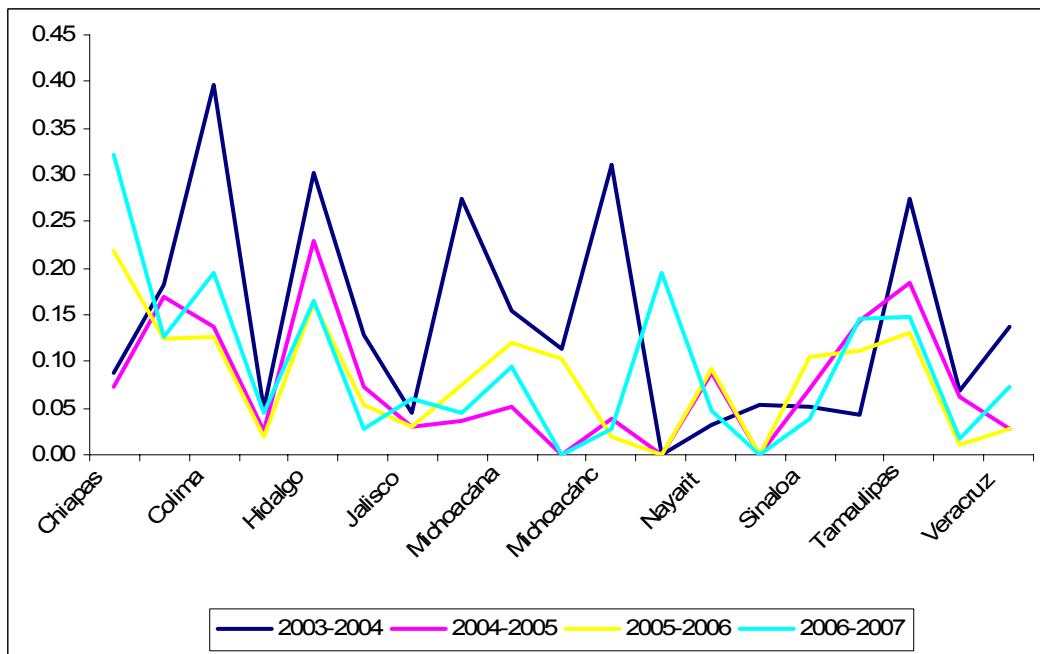


Figura 5.3. Volatilidad anual de las cuotas por distrito de riego para los estados de la República Mexicana, periodo 2003-2007.

Los estados seleccionados difieren significativamente, unos de otros, en muchos aspectos, incluyendo la extensión territorial, topografía, clima, nivel económico, demografía, por mencionar algunos. Por consiguiente, para extraer más información de las series de tiempo para su comparación, en el presente trabajo, se se uso de la estadística frecuentista (también llamada ortodoxa o objetivista, Rivadulla, 1991) en lugar del análisis directo de las medidas efectivas (cuyas diferentes dimensionalidades y unidades de medición no permiten realizar una comparación cuantitativa directa). Por ende, la variable clave para todas las comparaciones efectuadas fue la función de distribución de probabilidades (PDF), que sirvió del puente para pasar del análisis de medidas al estudio de sus frecuencias. Los resultados se presentan en el Apéndice A, en donde resume el análisis estadístico de las distribuciones señaladas y su ajuste al modelo de distribución más probable. Este análisis se realizó con el software comercial RISK.5. En total se probaron 36 diferentes funciones de distribución de probabilidades de las series de tiempo de las cuotas para los distritos de riego para cada estado, seleccionando la que más se ajustaba a los datos analizados. Esto, facilitó la unificación de la información polifacética y multiescalar recopilada para cada entidad federativa.

En la Tabla 5.2 se resumen los descriptores estadísticos obtenidos para las series de tiempo por entidad federativa junto con el indicador de volatilidad histórica. En las Figuras 5.4 y 5.5 se presentan los resultados gráficos de la asociación de los descriptores estadísticos para el estado de Chiapas y Colima, y Chiapas e Hidalgo.

La Figura 5.4 se muestra el grado de asociación que existe entre los valores momentos centrales (M_1 , M_2 , M_3 y M_4) para el estado de Chiapas y Colima, que se ajustaron a un modelo de polinomio de segundo orden con un coeficiente de determinación, $R^2=.99$, mayor al obtenido por el ajuste lineal ($R^2=.79$).

Respecto a la correlación existente entre Chiapas e Hidalgo, la Figura 5.5 muestra un ajuste perfecto entre los descriptores estadísticos para dichas entidades.

Tabla 5.2. Descriptores estadísticos de las cuotas para los distritos de riego por entidad federativa, periodo 2003-2007

	Volatilidad histórica	Media	Desviación estándar	Variancia	Asimetría	Curtosis
Chiapas	0.2071	1.99	1.46	2.11	0.76	2.61
Chihuahua	0.1728	7.1956	5.0052	24.802	0.3428	2.3102
Colima	0.2464	1.4162	0.5996	0.35503	0.6652	4.6194
Guerrero	0.037	6.5200	2.6550	6.9784	0.1982	2.4071
Hidalgo	0.223	2.8623	2.2744	5.1153	1.8335	5.2841
Estado de México	0.0797	8.316	2.9268	8.4436	0.2754	2.7213
Jalisco	0.0434	14.106	6.1644	37.898	0.2306	3.3528
Michoacán ^a	0.1121	3.3197	1.5877	2.4704	0.7765	2.3088
Michoacán ^b	0.0868	7.4683	1.2905	1.632	-0.6459	2.5036
Michoacán ^c	0.1603	2.867	2.7373	7.4554	2.2923	7.6892
Morelos	0.133	1.9052	0.51437	0.25928	-0.1143	1.8113
Nayarit	0.0747	3.6512	1.4572	2.0704	-0.21	1.9185
Querétaro	0.0313	8.483	7.5758	54.524	0.0046	1.0056
Sinaloa	0.0774	7.0106	2.6429	6.9386	0.1596	1.7777
Sonora	0.1309	3.6511	1.7631	3.0308	-0.0469	1.848
Tamaulipas	0.2113	12.353	6.6375	43.856	0.3178	2.228
Tlaxcala	0.0484	1.98381	0.19886	0.038755	-0.5533	1.9817
Veracruz	0.0831	4.3709	0.85089	0.71496	1.0729	4.0764

^a Entrega de agua por bombeo

^b Entrega de agua por gravedad

^c Entrega de agua en bloque

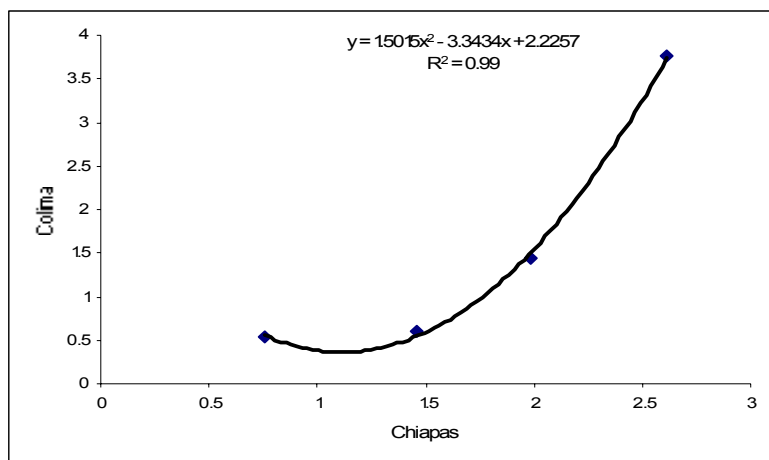


Figura 5.4. Correlación de los descriptores estadísticos para el estado de Chiapas y Colima

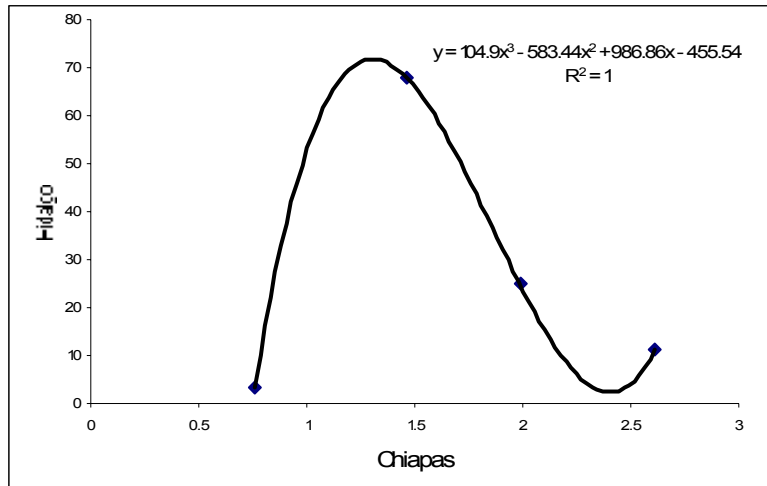


Figura 5.5. Correlación de los descriptores estadísticos para el estado de Chiapas e Hidalgo

Como parte del estudio, se asoció la volatilidad al descriptor fractal, H (exponente de Hurst), encontrando una alta correlación entre ambos descriptores para los estados analizados. Se usó la metodología desarrollada para el estudio del PREDA para el análisis metaestadístico de los descriptores de interés, que se dirige a la unificación de los bancos de datos obtenidos mediante las diversas técnicas de medición. La universalidad y invariancia al escalado (auto-similitud) del fenómeno complejo de distribución de las cuotas para los distritos de riego permiten describirlo de un modo integral. A continuación, se definen brevemente algunos de los conceptos básicos utilizados durante el presente estudio.

La Meta-estadística se manejó como una técnica de síntesis de los resultados derivados de la estadística descriptiva, realizada en el presente trabajo mediante la aplicación del paquete comercial RISK.5, y análisis fractal de las series de tiempo de cada una de las entidades federativas mencionadas con anterioridad, para cuyo efecto se utilizó el software BENOIT.1.3 mediante la técnica de Rango Re-escalado. Análisis metaestadístico puede realizarse a partir de los datos de la estadística descriptiva, sobre los elementos de la matriz de simetría, o sobre los elementos de la matriz de correlación. El presente trabajo se enfocó a la selección

de la función de correlación más representativa que asocia el exponente de Hurst y la volatilidad.

La Figura 5.6 muestra el grado de asociación entre estas dos medidas, el exponente de Hurst y la volatilidad, propuestas en el presente trabajo para el análisis de la estructura de las series de tiempo.

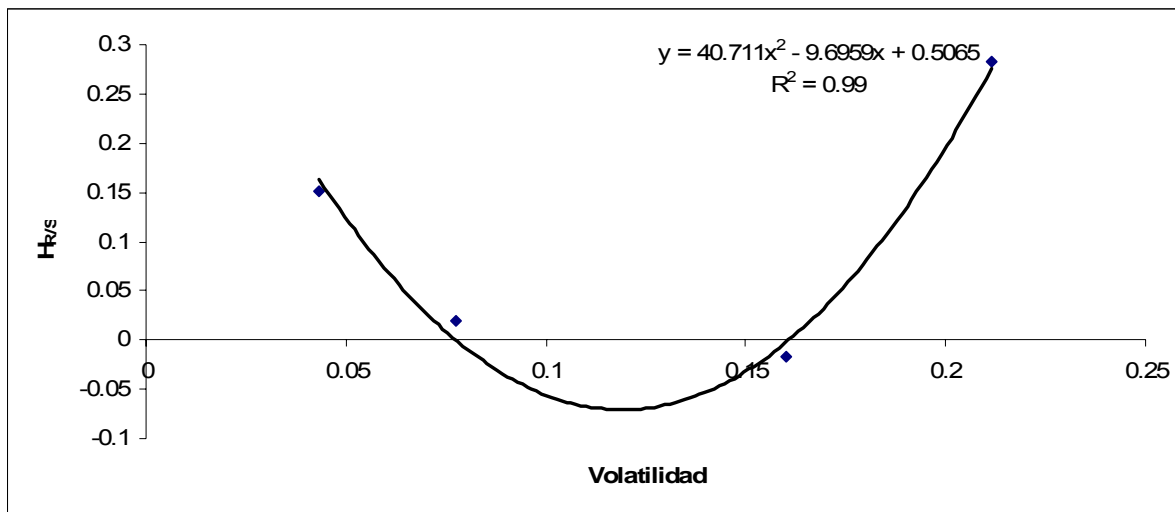


Figura 5.6. Correlación entre los indicadores de volatilidad y el exponente de Hurst ($H_{R/S}$) para Jalisco, Michoacán, Sinaloa y Tamaulipas.

El ajuste entre los dos indicadores mencionados arriba es de $R^2=0.99$ con un modelo polinomial de segundo orden. Los estados para mostrar el grado de asociación entre la volatilidad y el exponente de Hurst fueron Jalisco, Michoacán, Sinaloa y Tamaulipas, cuya longitud de las series son las más largas dentro de la base de datos.

CONCLUSIONES Y FUTURO TRABAJO

El impacto en la sociedad y en los ecosistemas que tiene la teoría economía y sus aplicaciones es enorme. La teoría de donde surge el valor y cómo puede ser medido y los objetivos con los cuales los recursos hídricos son evaluados y tienen valor, determina en gran medida el manejo y la forma en la que ellos se distribuyen. Dependiendo de la conceptualización y la medida de valor revelará distintos principios que resultarán en diferentes resultados para los sistemas socio-ecológicos y su capacidad para llevar a cabo funciones esenciales y preservarse a través del tiempo. De ahí la necesidad de una teoría y marco metodológico del valor que refleje tanto la cualidad intrínseca del agua y los elementos subjetivos de valoración. Un enfoque de sistema complejo para el valor muestra como los dos elementos pueden ser conceptualizados como sistemas usando un lenguaje común y un conjunto de conceptos y herramientas metodológicas.

Este enfoque Econofísico, propuesto en la presente investigación, plantea una nueva metodología para el estudio de los mercados del agua para una asignación del recurso hídrico eficiente y equitativa. Este enfoque sugiere que conceptos cruciales en el estudio del agua, como lo son la calidad y capacidad, son capturados de manera adecuada a través de la valoración monetaria.

Esencial para llevar a cabo el estudio de la valoración de los recursos hídricos bajo este enfoque serán las medidas unificadoras de la información polifacética: el exponente de Hurst y la volatilidad. Medidas que serán de gran relevancia en el manejo y asociación de las variables de entrada del PREDA. Asociada a ello, está la cuestión de qué nivel de los componentes del PREDA son importantes para su determinación en un sitio y circunstancias particulares, lo cual implicará, para la futura investigación, el uso de indicadores de complejidad que permitan captar los cambios en el valor/precio del agua derivados de cambios en la

naturaleza o calidad de los componentes del PREDA versus cambios en la estructura conectiva de estos componentes.

Si bien, el estudio del agua bajo este enfoque es una difícil y ambiciosa tarea, la crisis en el manejo de los recursos hídricos y el impacto social, económico y ambiental que ello implica, hace de este trabajo una propuesta pertinente y, más aún, necesaria.

BIBLIOGRAFÍA

- Anselin L. (2001), Rao's score test in spatial econometrics, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 97: 113-139.
- Anselin Luc, Lozano-García Nancy, Deichmann Uwe, Lall Somik (2008), *Valuing Access to Water – a spatial Hedonic Approach Applied to Indian Cities*, Policy Research Working Paper 4533, The World Bank, February, 31 p.
- Anteneodo C. and A. R. Plastino (1996), Some features of the López-Ruiz-Mancini-Calbet (LMC) statistical measure of complexity, *Physics Letters A* 223 (5): 348-354.
- Arellano, M. (2001), *Introducción al Análisis Clásico de Series de Tiempo*, [en línea] 5campus.com, Estadística <<http://www.5campus.com/leccion/seriest>> [02/05/2008].
- Arrojo Pedro, and Cales, José (1999), The impact of water prices on agricultural water in Spain, in: *Pricing water –Economics, Environmental and Society*, European Commission, summaries of presentations Sintra.
- Atmanspacher H., Räth C., Wiedenmann G. (1997), Statistics and meta-statistics in the concept of complexity, *Physica A* 234: 819-829.
- Baumann, D. D. & Boland, J.J. (1998) The case for managing urban water, In: D.D. Baumann; J.J. Boland & M. Hanemann (eds.), *Urban water demand management and planning*, Mc-Graw Hill: 1-30.
- Barlow, M. & Clarke T. (2002). *Blue Gold: the fight to stop corporate theft of the World's Water*. The New Press.

- Blaug, Mark (2001), *Teoría económica en retrospectiva*, Primera edición en español de la quinta edición en inglés, Fondo de Cultura Económica, México, 819 p.
- Baumont, C. (2004), Spatial effects in housing pricing models. Do housing prices capitalize urban development policies in the agglomeration of Dijon (1999)? Pole d'Economie et de Gestion, Université de Bourgogne Working Paper.
- Bennet C. H. (1988), Logical depth and physical complexity, in: *The Universal Turing Machine: A half-century survey*, Rolf Herken ed., Oxford, Oxford University Press.
- Bennet C. H. (1990), How to define complexity in Physics, and Why, en: W.H. Zurek, Ed., *Complexity, entropy and the physics of information*, SFI Studies in the Sciences of Complexity, vol. VIII, Addison-Wesley, New York.
- Birol E., Karoussakis K., Koundouri P. (2006), Using economic valuation techniques to inform water resources management: a survey and critical appraisal of available techniques and an application, *Science of the Total Environment* 365 (3): 105-122, July.
- Brander L.M., Florax R.J.G.M., Vermaat J.E. (2006), The empirics of wetland Valuation: a comprehensive summary and meta-analysis of the literature, *Environmental & Resource Economics* 33(2): 223-250.
- Brown J. H., V. J. Gupta, B. Li, B. T. Milne, C. Restrepo, G. B. West (2002), The fractal nature of nature: Power-laws, ecological complexity and biodiversity, *Philosophical Transactions: Biological Sciences* 357: 619-626.
- Calbet, X. (2001), Tendency towards maximum complexity in nonequilibrium isolated system, *Physical Review E* 63 (6): 1-9.

- Chavas, Jean-Paul (2000), Ecosystem valuation under uncertainty and irreversibility, *Ecosystems* 3: 11-15.
- Chaitin, G.J. (1966) On the length of programs for computing finite binary sequences, *Journal of the Association of Computing Machinery* 13: 547-569.
- Cillers, P. (1998), *Complexity and Postmodernism –Understanding Complex Systems*, Routledge, London
- Clawson M. (1959), Methods of measuring the demand for and value of outdoor recreation, Washington, DC, Resources for the Future, REF Reprint No. 10.
- Cole, K., Cameron, J., Edwards, C. (1991), *Why Economists Disagree: The Political Economy of Economics*. Longman, Harlow.
- Collet, Serge (2007), Values at sea, value of the sea: mapping issues and divides, *Social Science Information*, Vol. 46 (1): 35-66.
- Commission on Geosciences, Environmental and Resources (CGER) (1997), *Valuing Ground Water: Economic Concepts and Approaches*. <http://www.nap.edu/books/0309056403/html/75.html>
- Cordero R.R., Gunther S., Labbe F. (2006), Effect of the resolution on the uncertainty evaluation, *Metrologia* 43: L33-L38
- Costanza, R. (1981), Embodied energy, energy analysis, and economics. In H.E. Daly and A. F. Umana (Editors), *Energy, Economic, and the Environment: Conflicting Views of an Essential interrelationship*. Westview, Boulder, Colo.

- Costanza, R. (1980), Embodied energy and economic valuation, *Science* 210: 1219-1224.
- Costanza R. (2004), Value theory and energy. *Encyclopedia of Energy*, vol. 6 Elsevier, Oxford, p. 337-346.
- Costanza, Robert and Christopher Neill (1984), Energy intensities, interdependence and value in ecological systems: A linear Programming approach, *Journal of Theoretical Biology*, 106: 41-57.
- Crutchfield J. P. and Young K. (1989) Inferring statistical complexity. *Physical Review Letters* 63 (1989) 105-108.
- Daily, G. (1997), *Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Island Press, Washington, DC.
- de Groot, R. S., Wilson M. y Boumans, R. (2002), A typology for the description, clasification and valuation of ecosystem functions, goods and services, *Ecological Economics* 41:393-408.
- (De Janvry, A., (1994), *Social and Economical Reform: The Challenge of Equitable Growth in Latin America*, en *IV Congreso Latinoamericano y del Caribe de Economía Agraria*, Ed. Eugenis Muncnik y Alberto Niño Cepeda, Santiago, Chile.
- Dinar A., Saleth R.M. (2005), Issues in Water Pricing Reforms: From Getting Correct Prices to Setting Appropriate Institutions, en Folmer H. and Titenberg T., (eds.), *The International Yearbook of Environmental and Resource Economic* 2005/2006, Edward Elgar, Cheltenham, UK.

- Dudu H., Chumi S. (2008), Economics of Irrigation Water Management: A Literature Survey with Focus on Partial and General Equilibrium Models, Policy Research Working Paper 4556, The World Bank.
- Farber S.C., Costanza R., Wilson M. A. (2002), Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services, *Ecological Economics* 41(3): 375-392
- Feldman D.P. and Crutchfield J.P. (1998), Measures of statistical complexity: Why?, *Physics Letters A* 238: 244-252
- Georgescu-Roegen, N. (1983), La teoría energética del valor económico: un sofisma económico particular, *El Trimestre Económico* 198: 829-834.
- Giardina, Irene, Jean Philippe Bouchaud and Marc Mézard, 2001. Microscopic models for long ranged volatility correlations, *Physica A* 299: 28-39
- Gibson, Clark, Elinor Ostrom, and Toh-Kyeong Ahn (1998), Scaling issues in the Social Sciences, IDHP Working Paper No 1, International Human Dimensions Programme on Gloval Environmental Change, Bonn, Germany, may.
- Grassberger, P. (1986), Toward a quantitative theory of self-generated complexity, *International Journal of Theoretical Physics* 25: 907-938.
- Green J.L., A. Hastings, P. Arzberger, F. J. Ayala, K. L. Cottingham, K. Cuddington, F. Davis, J. A. Dunne, M-J. Fortin, L. Gerber and M. Neubert (2005), Complexity in ecology and conservation: mathematical, statistical, and computational challenges, *BioScience* 55 (6): 501-510.
- Gunderson L.H., C. S. Holling, L. Pritchard, and G. D. Peterson (1997), Resilience in Ecosystems, Institutions, and Societies. Propositions for a Research Agenda, Gainesville: University of Florida, Department of Zoology.

- Judson, D. H. (1989) The convergence of Neo-Ricardian and embodied energy theories of value and price, *Ecological Economic*, 1: 261-281.
- Haneman, W. M. (2006), Chapter 4. The economic conception of water. In: *Water Crisis myth or reality?* Rogers, P.P., M. R. Llamas, L. Martínez-Cortina, Taylor & Francis, PLC. London.
- Hotelling H. (1931), The economics of exhaustible resources, *J. Polit. Econ* 39: 1937-1975, April.
- Hunt, E. K. (1983), Joan Robinson and the labor theory of value. *Cambridge J. Econ.*, 7:331-342.
- Jiang, W. L. (1998), a study on model of water resources value. *Resources Science* 1(1): 35-43.
- Kolmogorov, A. N. (1965), Three approaches to the Quantitative Definition of Information, *Problems of Information Transmission* 1: 1-17.
- Kumar P., Franzese Giancarlo, Stanley H. E. (2008), Dynamics and thermodynamics of water, *Journal of Physics: Condensed Matter* 20, 244114, 12pp.
- Langefors, B. (1995), *Essays in infology*, Studentlitteratur, Lund.
- Li, Y.W., Chen S.Y., Fu T. (2005), Comprehensive evaluation of water resource carrying capacity based on fuzzy recognition. *Advances in Water Science* 9 (5): 726-729.

- Lichtenstein, P. M. (1983), An Introduction to Post-Keynesian and Marxian Theories of Value and Price, Sharpe, Armonk, N. Y., 206 pp.
- Limburg, K. E., R. V. O'Neill, R. Costanza, Stephen Farber (2002), Complex systems and valuation, *Ecological Economics* 4: 409-420.
- Liu, Zhicen, Joel Koerwer, Jiro Nemoto, Hidefumi Imura (2008), Physical energy cost serves as the “invisible hand” governing economic valuation: Direct evidence from biogeochemical data and the U.S. metal market, *Ecological Economics* 67: 104-108.
- Liu Y., P. Gopikrishnan, P. Cizeau, M. Meyer, C-K. Peng and H. E. Stanley (1999), Statistical properties of the volatility of price fluctuations, *Physical Review E* 60(2): 1390-1400
- Lloyd, L. and H. Pagels (1988), Complexity as thermodynamic Depth, *Annals of Physics* 188: 186-213.
- Loomis J. (2002), Quantifying recreation use values from removing dam and restoring free-flowing rivers: a contingent behavior travel cost demand model for the lower snake river, *Water Resour Res* 38 (6), June.
- López, Jaime (2006), El milagro del agua, *El país semanal*, 19 de marzo. http://www.elpais.com/articulo/elpepspor/20060319elpepspor_15/Tes/portada/milagro/agua
- Lòpez-Ruiz R., Mancini H.L., Calbet X. (1995), A statistical measure of complexity, *Physics Letters A* 209: 321-326.
- Martin, M.T., A. Plastino and O. A. Rosso (2006), Generalized statistical complexity measures: Geometrical and analytical properties, *Physica A* 369: 439-462.

- Martínez Alier, J. y Schüpmann, K. (1991), *La economía y la ecología*, Fondo de Cultura Económica, Madrid, España.
- Markandya A., Harou P., Bellu L. Cistulli V. (2002), *Environmental economics for sustainable growth: a handbook for practitioners*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Marsili, Mateo, 2003. Scale invariance and criticality in financial markets, *Physica A* 324: 17-24.
- Marx, Karl (1973), *El capital Tomo I, El proceso de producción del capital*, Siglo XXI Editores.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers y W. W. Behrens (1972), *The Limits to Growth*. New York: University Books.
- Mill, John Stuart (1978), *Principios de Economía Política*, Fondo de Cultura Económica, páginas.
- Odum Howard T. (1996), *environmental Accounting: EMERGY and Environmental Decision Making*, Wiley, New York.
- Pack, S. J. (1985). *Reconstructing Marxian Economics: Marx Based upon a Sraffian Commodity Theory of Value*, Praeger, New York, N. Y., 163 pp.
- Pace, R. and LeSage (2004), *Spatial econometrics and real state*, *Journal of Real Estate Finance and Economics* 29: 147-148.
- Pearce, D. and Markandya A. (1989), *Environmental policy Benefits: Monetary Valuation*. Paris, OCDE.

- Plerou, V., P. Gopikrishnan, B. Rosenow, L.A.N Amaral, T. Guhr, H. E. Stanley, 2002. A random matrix approach to financial crosscorrelations, *Physical Review E* 65.
- Raberto, Marco, Enrico Scalas and Francesco Mainardi, 2002. "Waiting-times returns in high-frequency financial data: an empirical study", *Physica A* 314.
- Ricardo, David (1971), *On the Principles of Political Economy, and Taxation*, Penguin Books, PAGINAS
- Ricardo, David (1963) *Cartas, 1816-1818*, Fondo de Cultura Económica, vol. VII.
- Richardson K. (2005), The hegemony of the physical sciences: exploration in complexity thinking, *Futures* 37: 615-653.
- Richardson K. A., Mathieson G. , Cillers P. (2000) The theory and practice of complexity science: epistemological considerations for military operational analysis, *SystemMexico* 1(1): 25-66
- Rissanen, J. (1989), *Stochastic Complexity and Statistical Inquiry*, World Scientific, Singapore.
- Rissanen, J. (1996), Fisher information and stochastic complexity. *IEEE Transactions on Information Theory* 42(1): 40-47
- Roe, T., Dinar A., Tsur Y., Diao X. (2005), *Feedback Links Between Economy-wide and Farm Level Policies: Application to Irrigation Water Management in Morocco*, Policy Research Working Paper 3550, World Bank.
- Roth, Eva, 2001, *Water Pricing in the EU. A Review*. Publication number 2001/002, European Environmental Bureau (EEB), Brussels.

Spiegel, H. W. (1983), *The Growth of Economic Thought: Revised and Expanded Edition*. Duke Univ. Press, Durham, N. C., 842 pp.

Stanley H. E. , Plerou Vasiliki P., Gabaix X. (2008), A statistical physics view of financial fluctuations: Evidence for scaling and universality, *Physica A* 387: 3967-3981.

Stanley H. E., Kumar P., Franzese G., Xu L., Yan Z., Mazza M., Chen S.-H., Mallamace F. and Buldyrev S. V. (2008), Liquid Polymorphism: Some Unsolved Puzzles of Water in Bulk, Nacoconfined, and Biological Environments, in: Tokuyama M. and Nishiyama,H., *Complex Systems*, 5th International Workshop on Complex Systems, American Institute of Physics: 251271.

Straton, A. (2006), A complex systems approach to the value of ecological resources. *Ecological Economics* 56: 402-411.

Tsur, Y. (2000), Water Regulation via Pricing: the Role of Implementation Costs and Asymmetric Information, en Dinar A. (ed.) *The Political Economy of Water Pricing Reforms*, Oxford University Press, pp. 105-120.

Tsur, Y., Roe T., Doukkali R., Dinar A. (2004) *Pricing Irrigation Water: Principles and Cases from Developing Countries*, New York, Washington: Resources For the Future Press Book.

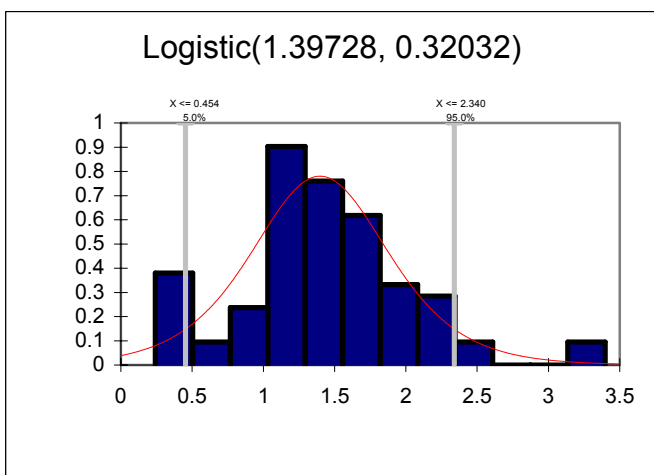
UNESCO-WWAP (2006), *The Second United Nations World Water Development Report: : 'Water, a shared responsibility*

- Wang, Fengzhong, Kazuko Yamasaki, Shlmo Halvin and E. Stanley, 2006. "Scaling and memory volatility return intervals in stocks markets", *Physical Review E* 73.
- Wang, Y., Xu T. (2003), Sources price of water resources in Tianjin city with fuzzy mathematic method, *Journal of Territory and Natural Resources study* 3: 63-64.
- Weisstein, Eric W. "Time Series Analysis." From MathWorld--A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/TimeSeriesAnalysis.html>, [02/05/2008].
- Xepapadeas Anastasios and Phoebe Koundori, 2004. "Introduction to special section on Groundwater Economics and Policy", *Water Resources Research*, Vol. 40, Num. 6, June.
- Willink R. (2006a), On using the Monte Carlo method to calculate uncertainty intervals, *Metrologia* 43: L-39-L42.
- Willink R. (2006b), Uncertainty analysis by moments for asymmetric variables, *Metrologia* 43: 522-530.
- Zixun J., Zixiu J., Yu Xiubo, Chen Z. (1999), Environmental features and water environmental problems in the contiguous region of Jiangsu, Shangdong, Henan and Anhui Provinces, *Chinese Geographical Science* 9 (1): 63-69

APÉNDICE

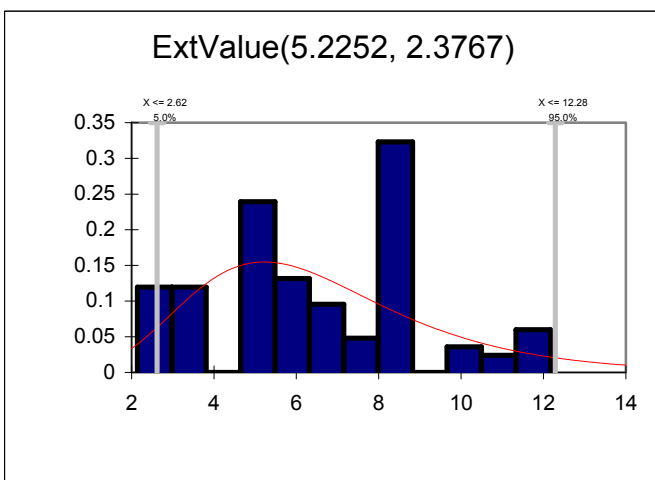
Apéndice A. Análisis estadístico de las cuotas para los distritos de riego por Estado, periodo enero 2003-diciembre 2007

Colima



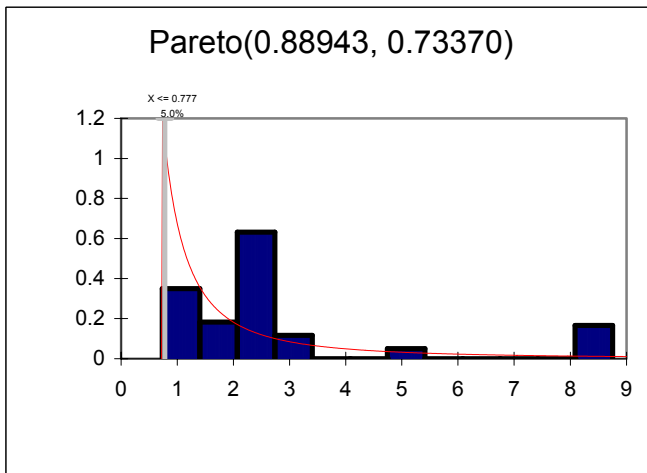
	Fit	Input
Function	RiskLogistic(1	N/A
a	1.39728147	N/A
b	0.32031927	N/A
Left X	0.454	0.454
Left P	5.00%	6.25%
Right X	2.34	2.34
Right P	95.00%	95.00%
Diff. X	1.8863	1.8863
Diff. P	90.00%	88.75%
Minimum	-Infinity	0.2414
Maximum	+Infinity	3.3982
Mean	1.39728	1.4162
Mode	1.39728	0.47490 [est]
Median	1.39728	1.3601
Std. Deviation	0.58099	0.5996
Variance	0.33756	0.35503
Skewness	0	0.6652
Kurtosis	4.2	4.6194

Guerrero



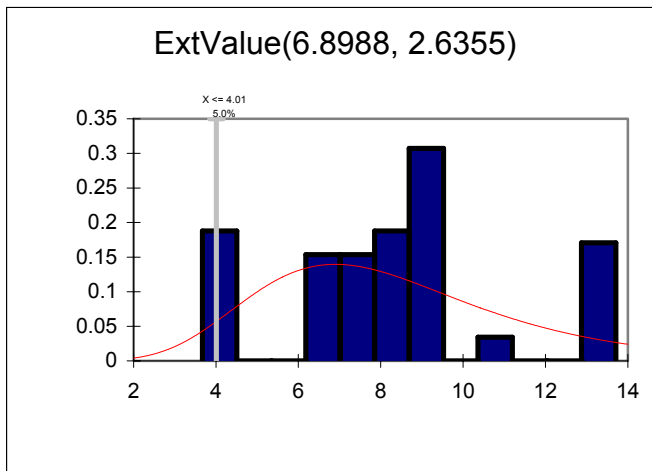
	Fit	Input
Function	6.59706847	N/A
a	5.22523692	N/A
b	2.376668	N/A
Left X	2.62	2.62
Left P	5.00%	10.00%
Right X	12.28	12.28
Right P	95.00%	100.00%
Diff. X	9.6668	9.6668
Diff. P	90.00%	90.00%
Minimum	-Infinity	2.139
Maximum	+Infinity	12.168
Mean	6.5971	6.52
Mode	5.2252	8.6871 [est]
Median	6.0963	5.9969
Std. Deviation	3.0482	2.655
Variance	9.2915	6.9784
Skewness	1.1395	0.1982
Kurtosis	5.4	2.4071

Hidalgo



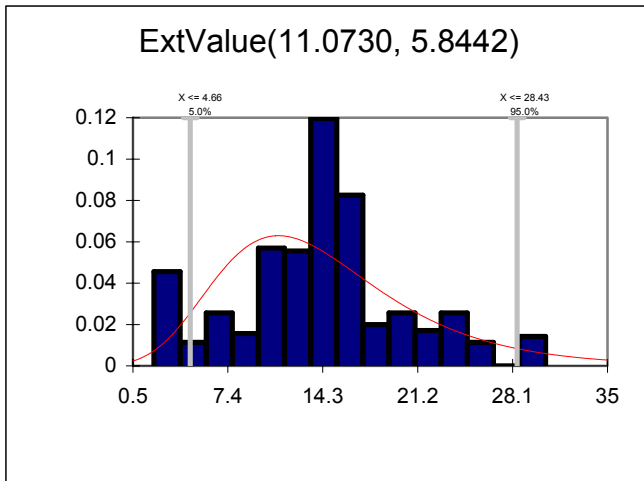
	Fit	Input
Function	RiskPareto(0.	N/A
q	0.88942752	N/A
a	0.7337	N/A
Left X	0.777	0.777
Left P	5.00%	8.89%
Right X	21.296	21.296
Right P	95.00%	100.00%
Diff. X	20.5184	20.5184
Diff. P	90.00%	91.11%
Minimum	0.7337	0.7337
Maximum	+Infinity	8.7514
Mean	N/A	2.8623
Mode	0.7337	2.2144 [est]
Median	1.59946	2.421
Std. Deviation	N/A	2.2744
Variance	N/A	5.1153
Skewness	N/A	1.8335
Kurtosis	N/A	5.2841

Estado de México



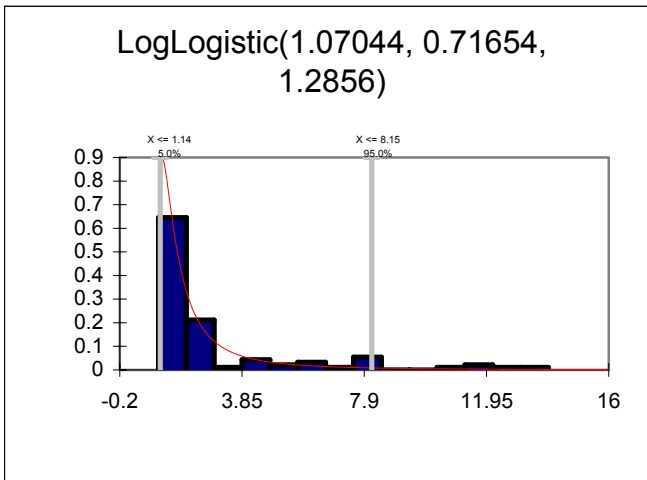
	Fit	Input
Function	RiskExtvalue(N/A
a	6.89875089	N/A
b	2.63547365	N/A
Left X	4.01	4.01
Left P	5.00%	14.29%
Right X	14.73	14.73
Right P	95.00%	100.00%
Diff. X	10.7195	10.7195
Diff. P	90.00%	85.71%
Minimum	-Infinity	3.67
Maximum	+Infinity	13.71
Mean	8.42	8.316
Mode	6.8988	3.6700 [est]
Median	7.8647	8.4841
Std. Deviation	3.3801	2.9268
Variance	11.4253	8.4436
Skewness	1.1395	0.2754
Kurtosis	5.4	2.7213

Jalisco



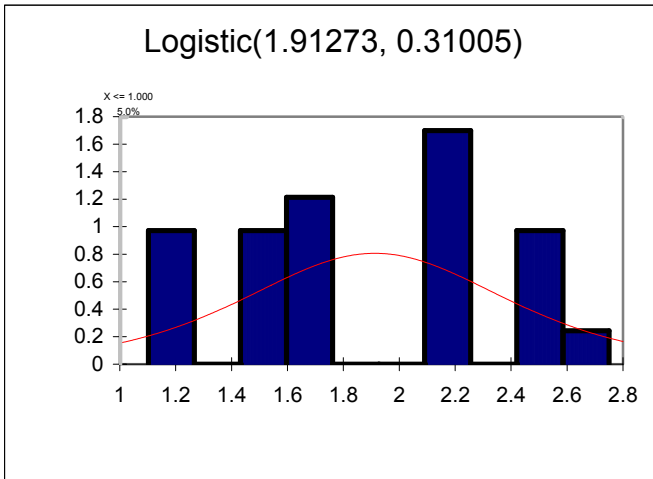
	Fit	Input
Function	RiskExtvalue()	N/A
a	11.0730001	N/A
b	5.84416712	N/A
Left X	4.66	4.66
Left P	5.00%	8.65%
Right X	28.43	28.43
Right P	95.00%	97.30%
Diff. X	23.7705	23.7705
Diff. P	90.00%	88.65%
Minimum	-Infinity	2.029
Maximum	+Infinity	30.5
Mean	14.4463	14.106
Mode	11.073	16.100 [est]
Median	13.215	14.169
Std. Deviation	7.4954	6.1644
Variance	56.1816	37.898
Skewness	1.1395	0.2306
Kurtosis	5.4	3.3528

Michoacán



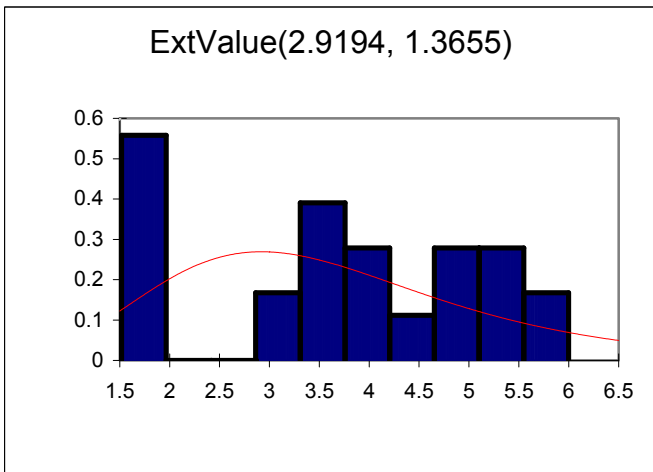
	Fit	Input
Function	RiskLoglogisti	N/A
g	1.07043505	N/A
b	0.71653681	N/A
a	1.28556722	N/A
Left X	1.14	1.14
Left P	5.00%	5.00%
Right X	8.15	8.15
Right P	95.00%	95.00%
Diff. X	7.0059	7.0059
Diff. P	90.00%	90.00%
Minimum	1.07044	1.0846
Maximum	+Infinity	14
Mean	3.79546	2.867
Mode	1.21254	1.0846 [est]
Median	1.78697	1.8235
Std. Deviation	N/A	2.7373
Variance	N/A	7.4554
Skewness	N/A	2.2923
Kurtosis	N/A	7.6892

Morelos



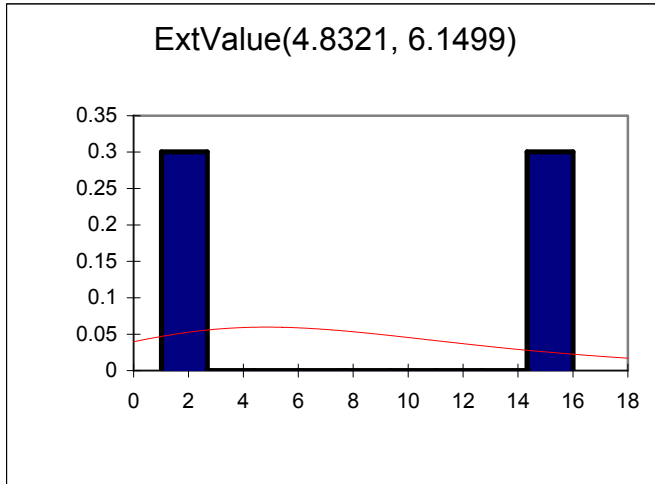
	Fit	Input
Function	RiskLogistic(1	N/A
a	1.91273415	N/A
b	0.31005124	N/A
Left X	1	1
Left P	5.00%	0.00%
Right X	2.826	2.826
Right P	95.00%	100.00%
Diff. X	1.8259	1.8259
Diff. P	90.00%	100.00%
Minimum	-Infinity	1.1023
Maximum	+Infinity	2.75
Mean	1.91273	1.9052
Mode	1.91273	1.1023 [est]
Median	1.91273	1.7181
Std. Deviation	0.56237	0.51437
Variance	0.316261	0.25928
Skewness	0	-0.1143
Kurtosis	4.2	1.8113

Nayarit



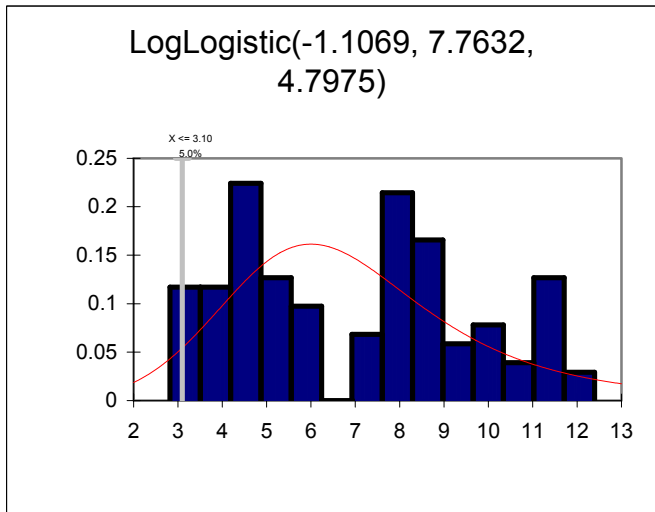
	Fit	Input
Function	RiskExtvalue(N/A
a	2.91935065	N/A
b	1.36547753	N/A
Left X	1.421	1.421
Left P	5.00%	0.00%
Right X	6.975	6.975
Right P	95.00%	100.00%
Diff. X	5.5539	5.5539
Diff. P	90.00%	100.00%
Minimum	-Infinity	1.5176
Maximum	+Infinity	5.9985
Mean	3.7075	3.6512
Mode	2.9194	1.5176 [est]
Median	3.4198	3.7098
Std. Deviation	1.7513	1.4572
Variance	3.067	2.0704
Skewness	1.1395	-0.21
Kurtosis	5.4	1.9185

Querétaro



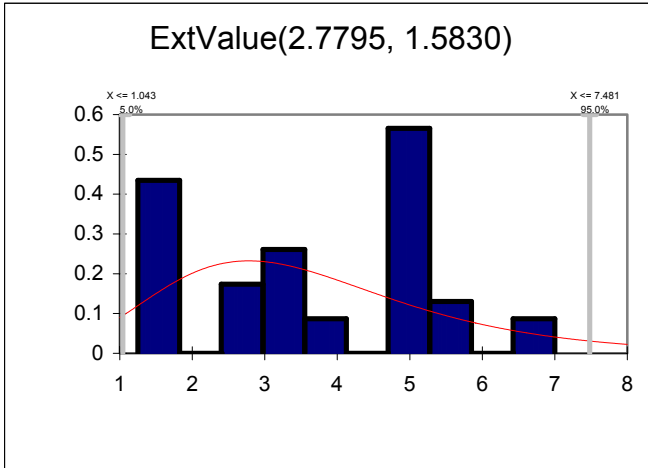
	Fit	Input
Function	RiskExtvalue()	N/A
a	4.83214763	N/A
b	6.14994563	N/A
Left X	-1.92	-1.92
Left P	5.00%	0.00%
Right X	23.1	23.1
Right P	95.00%	100.00%
Diff. X	25.0142	25.0142
Diff. P	90.00%	100.00%
Minimum	-Infinity	1.0171
Maximum	+Infinity	16.001
Mean	8.382	8.483
Mode	4.8321	1.1148 [est]
Median	7.0862	7.857
Std. Deviation	7.8876	7.5758
Variance	62.2144	54.524
Skewness	1.1395	0.0046
Kurtosis	5.4	1.0056

Sinaloa



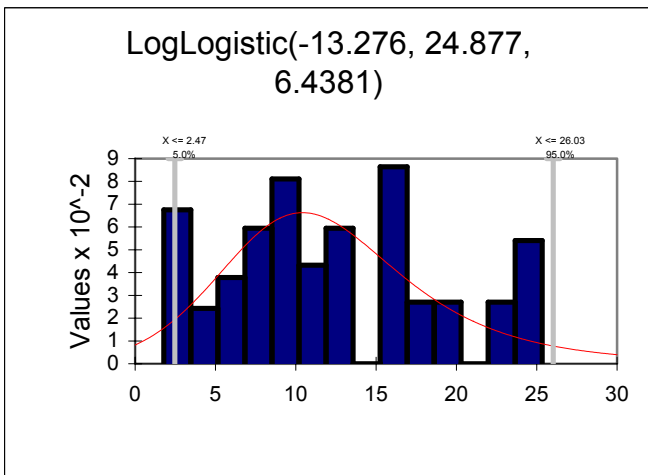
	Fit	Input
Function	7.24019908	N/A
g	-1.10690217	N/A
b	7.76315348	N/A
a	4.79746624	N/A
Left X	3.1	3.1
Left P	5.00%	0.67%
Right X	13.23	13.23
Right P	95.00%	100.00%
Diff. X	10.1389	10.1389
Diff. P	90.00%	99.33%
Minimum	-1.1069	2.821
Maximum	+Infinity	12.393
Mean	7.2402	7.0106
Mode	6.0009	4.5248 [est]
Median	6.6563	7.5774
Std. Deviation	3.4679	2.6429
Variance	12.0263	6.9386
Skewness	2.6989	0.1596
Kurtosis	37.5653	1.7777

Sonora



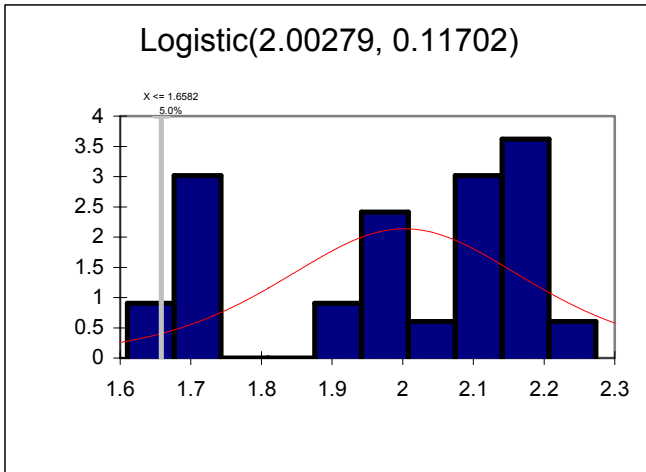
	Fit	Input
Function	RiskExtvalue	N/A
a	2.77952896	N/A
b	1.58304079	N/A
Left X	1.043	1.043
Left P	5.00%	0.00%
Right X	7.481	7.481
Right P	95.00%	100.00%
Diff. X	6.4388	6.4388
Diff. P	90.00%	100.00%
Minimum	-Infinity	1.25
Maximum	+Infinity	7
Mean	3.6933	3.6511
Mode	2.7795	1.2500 [est]
Median	3.3597	3.4704
Std. Deviation	2.0303	1.7631
Variance	4.1222	3.0308
Skewness	1.1395	-0.0469
Kurtosis	5.4	1.848

Tamaulipas



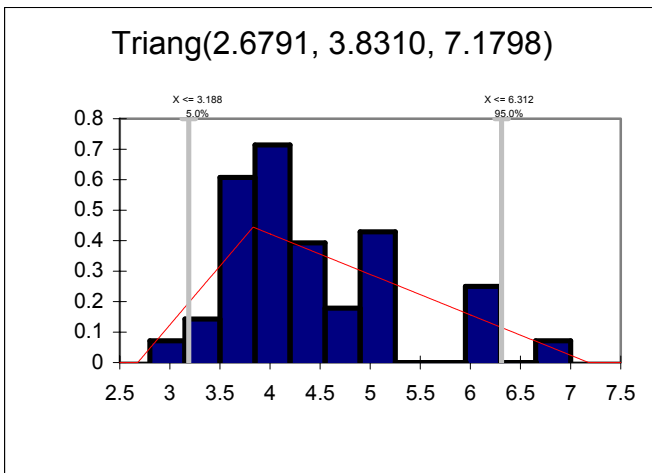
	Fit	Input
Function	RiskLoglogisti	N/A
g	-13.276222	N/A
b	24.8766543	N/A
a	6.43811715	N/A
Left X	2.47	2.47
Left P	5.00%	8.64%
Right X	26.03	26.03
Right P	95.00%	100.00%
Diff. X	23.556	23.556
Diff. P	90.00%	91.36%
Minimum	-13.276	1.7863
Maximum	+Infinity	25.341
Mean	12.616	12.353
Mode	10.419	13.379 [est]
Median	11.6	11.129
Std. Deviation	7.6693	6.6375
Variance	58.819	43.856
Skewness	1.6387	0.3178
Kurtosis	12.3413	2.228

Tlaxcala



	Fit	Input
Function	2.00279	N/A
a	2.00279032	N/A
b	0.11702075	N/A
Left X	1.6582	1.6582
Left P	5.00%	6.00%
Right X	2.3474	2.3474
Right P	95.00%	100.00%
Diff. X	0.6891	0.6891
Diff. P	90.00%	94.00%
Minimum	-Infinity	1.6101
Maximum	+Infinity	2.2733
Mean	2.00279	1.98381
Mode	2.00279	1.61010 [est]
Median	2.00279	2.0451
Std. Deviation	0.21225	0.19886
Variance	0.045051	0.038755
Skewness	0	-0.5533
Kurtosis	4.2	1.9817

Veracruz



	Fit	Input
Function	RiskTriang(2.6791, 3.831, 7.1798)	N/A
min	2.67905753	N/A
m. likely	3.831	N/A
max	7.17980715	N/A
Left X	3.188	3.188
Left P	5.00%	2.50%
Right X	6.312	6.312
Right P	95.00%	97.50%
Diff. X	3.1235	3.1235
Diff. P	90.00%	95.00%
Minimum	2.6791	2.8
Maximum	7.1798	7
Mean	4.5633	4.3709
Mode	3.831	5.0000 [est]
Median	4.4346	4.0963
Std. Deviation	0.9545	0.85089
Variance	0.91106	0.71496
Skewness	0.4152	1.0729
Kurtosis	2.4	4.0764