



**INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER MANAGEMENT IN FEDERAL  
AND FEDERAL-TYPE COUNTRIES**

***CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE GESTIÓN DEL AGUA EN PAÍSES  
FEDERALES Y SEMEJANTES A LOS FEDERALES.***

**Gestión Entrópica del Agua en Países Decentralizados**

Carlos Díaz-Delgado<sup>1</sup>, Danilo Antón<sup>2</sup>, María Vicenta Esteller<sup>1</sup>, Juan Antonio García<sup>1</sup>,  
Khalidou M. Bâ<sup>1</sup>, Emmanuelle Quentin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Profesor – investigador, <sup>2</sup> Profesor invitado, Centro Interamericano de Recursos del Agua,  
Universidad Autónoma del Estado de México (CIRA-UAEM, México), Cerro de Coatepec,  
Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México, c.p. 50130. , e-mail: cdiaz@uaemex.mx

## **RESUMEN**

El presente trabajo presenta una reflexión acerca de la manera en que hoy en día los países federados, y particularmente aquellos en vías de desarrollo, llevan a cabo su denominada gestión hídrica. Igualmente se hace referencia a uno de los conceptos de mayor impacto en las últimas décadas por el grado de avance y evolución alcanzados el cual es el de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). Con base en los argumentos que soportan este proceso de gestión hídrica y reconociendo como variables críticas de un desarrollo sostenible a los recursos agua y energía, se propone una metodología con fundamentos físicos y naturales para la toma de decisiones. Este proceso consiste en el empleo de conceptos de la economía ambiental y particularmente en la optimización de la energía necesaria para satisfacer las necesidades de agua para los diferentes usos en una cuenca. Finalmente, es necesario subrayar que esta propuesta metodología aún se encuentra en fase de desarrollo y perfección en el seno del Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA-UAEM-México) pero que sus resultados parciales le confieren un prometedor futuro y rápida evolución e implementación.

**Palabras clave: Gestión integrada, Cuencas hidrológicas, Entropía, Calidad del agua, Valor del agua, Países descentralizados.**

## **INTRODUCCIÓN**

Es posible indicar que a partir de la “Internacional Conference on Water and the Environment” en Dublín de 1992, ha renacido uno de los conceptos de gestión hídrica más trascendentales que ha venido a replantear la forma de organización para la toma de decisiones y gestión de los recursos hídricos de cualquier país o región. Este concepto es el llamado Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), definido como “el proceso, mediante el cual se promueve un desarrollo coordinado y una gestión del agua, suelo y recursos naturales interrelacionados con la finalidad de maximizar equitativamente el bienestar económico y social sin comprometer la sostenibilidad del ecosistema”. Si bien puede argumentarse que este concepto, o alguno muy parecido, existe desde hace mucho tiempo (BISWAS, 2004; RAHAMAN & VARIS, 2005, EMBID, 2003) lo importante no es cuando apareció, sino que hoy en día se ha venido perfeccionando y se vislumbra como un camino viable de solución ante la indiscutible crisis hídrica que se enfrenta, y ello particularmente en los países descentralizados.

Cabe mencionar que incluso entre los países descentralizados existe una clasificación generada por el nivel de desarrollo existente. En efecto, la situación social, económica,

educacional y de desarrollo presentan condiciones para las cuales la forma de organización y protección ambiental deberá ser simplemente diferente. De acuerdo con estudios realizados recientemente (CAP-NET et al., 2008), el marco legal existente en los países federados (descentralizados) es considerado como suficiente para soportar la gestión y protección de los recursos naturales de un país. Sin embargo, en la práctica, la aplicabilidad de dicho marco legal deja mucho que desear. Por otro lado, el nivel de autonomía del que gozan los organismos de cuenca en el mejor de los casos es muy limitado, requiriéndose por lo general de la aprobación de agencias nacionales y atendiendo a razones “políticamente aceptables” en detrimento de una gestión y toma de decisiones que beneficie al socio-ecosistema.

Algunos países, como México y Brasil, han modernizado su discurso e incluso leyes, introduciendo enfoques holísticos de manejo de recursos hídricos. La realidad es lamentablemente otra muy distinta, pues la diferencia entre los objetivos, las acciones emprendidas y los resultados obtenidos es indiscutible. Estas diferencias son atribuibles aparentemente a la falta de recursos humanos, económicos, financieros, de articulación institucional y tecnológicos suficientes para implementar dicha organización. Es por ello que actualmente es necesario implementar procesos de planeación estratégica participativa de enfoque de gestión integrada de recursos hídricos con base en un alto rendimiento de acciones y una priorizada integración de componentes a considerar.

El proceso requerido para la gestión de los recursos naturales, y en particular del agua, exige un cambio de paradigma organizacional y principalmente un cambio de actitud de todos y cada uno de los miembros de la sociedad en cuestión. Hoy en día el concepto de GIRH se ha reorientado con base en el marco de una planeación estratégica participativa en donde los cambios son graduales, pero que a través de la fase de la planeación táctica se pueden obtener resultados de alto impacto en el corto plazo y congruentes con la visión estratégica definida.

Una de las generalidades que se presentan en los países descentralizados es que el agua que llega a un río que atraviesa a más de una entidad (estado o departamento) se convierte en una jurisdicción federal no pudiéndose gestionar este recurso hídrico a nivel local. Es precisamente en este aspecto dónde la propuesta metodológica de gestión aquí presentada cobra una importancia singular pues antes de llegar el agua al río federal la gestión resultará económicamente más rentable.

Así pues, en el marco de propuestas para la implementación de mejores prácticas de gestión hídrica en países descentralizados, se presenta la teoría de la gestión entrópica del agua (DÍAZ-DELGADO et al., 2005). Esta propuesta pretende mostrar una metodología que con base en hechos reales, físicos y naturales, orienta la toma de decisiones en materia de gestión

de agua evadiendo las tentaciones de una manipulación económica a través de subsidios que vuelvan ficticio todo esfuerzo de optimización del sistema.

Sin duda alguna, atribuir valor a los recursos naturales es una tarea ardua y difícil. En primer lugar, porque la medida que se utiliza generalmente para su ponderación es de tipo monetaria; y el dinero y la naturaleza se gobiernan por distintas leyes. El dinero se rige por las leyes de las matemáticas, mientras que la naturaleza se rige por las leyes de la física (SOODY, 1926). La matemática permite que las cantidades se incrementen de acuerdo con la regla del interés compuesto, y otras análogas, mientras que la física está regida por la segunda ley de la termodinámica, es decir, la degradación entrópica. Esta dicotomía fundamental explica la dificultad que existe para la valoración monetaria de los bienes y elementos naturales.

La cantidad de agua que existe en la Tierra se mantiene relativamente estable. En términos abstractos, este volumen parece ser más que suficiente para satisfacer todas las necesidades humanas actuales y del futuro cercano. En los hechos, las cantidades disponibles son mucho menores. En primer lugar, porque la función natural de las aguas no es de uso exclusivo por las sociedades humanas. El agua es también sustento principal de los ecosistemas existentes en el planeta. Ello determina que para utilizar el agua sin causar daños a la naturaleza, y por ende indirectamente a las sociedades humanas, hay que tener en cuenta los ciclos socio-bio-hidrológicos. Por esa razón, el uso de agua está limitado por las necesidades de las configuraciones específicas de los socio-ecosistemas locales, regionales y globales.

El problema principal que los seres humanos están experimentando con el agua es sobre todo de **calidad** y en mucho menor grado de **cantidad**. La degradación entrópica causada por el consumo humano afecta intensamente la calidad del agua, y en menor grado los volúmenes.

La cuestión consiste en que el reciclado natural producido por la energía solar (evaporación, fotosíntesis) no alcanza para depurar todas las aguas residuales que se producen continuamente.

Debido a los crecientes volúmenes de aguas residuales de origen humano, que además se concentran en áreas relativamente pequeñas, los procesos de reciclado natural resultan insuficientes para lograr su depuración. En cierta medida se busca corregir esa situación a través de la instalación de plantas o sistemas de tratamiento de diverso tipo. Los procesos de tratamiento se realizan utilizando directa o indirectamente, voluminosas cantidades de combustibles fósiles. Es evidente que los combustibles fósiles son energía solar del pasado, acumulada en volúmenes finitos. Cuando se acaben el petróleo, el gas y el carbón, este

planeta se volverá a quedar con la única fuente realista de energía renovable: la radiación solar.

En general, lo que da valor al agua es sobre todo su calidad. Las aguas de ciertas calidades (por ejemplo tóxicas) podrían tener, incluso, un valor definible como “negativo”, pues exigen grandes cantidades de energía para ser eliminadas o tratadas para su ulterior utilización, mientras que otras aguas que no requieren ningún tratamiento pueden tener gran valor. En otras palabras, lo que le da valor al agua es sobre todo la “calidad en cantidad”.

## CRITERIOS E ÍNDICES PARA CARACTERIZAR LA CALIDAD DEL AGUA

La determinación de la calidad de agua se refiere en general a la aptitud que tiene para su utilización en actividades económicas, sociales y ambientales. En términos cualitativos, las aguas de mayor calidad son aquellas que poseen un tenor bajo en sales o gases disueltos, que no tienen microorganismos patógenos, con niveles muy bajos de materia orgánica y con pocas o ninguna partícula en suspensión. Por lo general, las aguas con estas características son apropiadas para el consumo humano. Existen diversos índices de calidad del agua, generalmente calculados a partir de la determinación de las concentraciones de sales y contaminantes de diverso tipo en la misma. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, México) ha usado un índice que varía de 0 a 100, en donde 0 es la peor calidad. La calidad se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n W_i I_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Donde: **I**: Índice de calidad general; **I<sub>i</sub>**: Índice de calidad del parámetro considerado; **W<sub>i</sub>**: Ponderación del parámetro considerado. La ponderación que se adjudica a los parámetros se muestra en la Tabla 1.

La calidad del agua es también caracterizada de acuerdo con normas oficiales de los gobiernos que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas para diferentes usos (consumo humano, riego, descargas en aguas naturales, etc).

Las aguas residuales industriales son también definidas de acuerdo con su contenido en los diversos contaminantes presentes. Se han establecido varios índices para definir el grado de contaminación, uno de ellos, es el *chimiotox*, o factor de ponderación tóxica (F<sub>tox</sub>) el cual fue

establecido por el Plan d'action St Laurent de Quebec, Canadá. La ecuación para calcularlo es la siguiente (DENIZEAU & RICARD, 1998):

$$F_{tox\ i} = \frac{1}{CPS_i}$$

Donde:  $F_{tox\ i}$  : el factor de ponderación tóxica del parámetro  $i$ ;  $1\ mg/l$ : una referencia arbitraria;  $CPS_i$ : el criterio de calidad del agua más sensible del parámetro  $i$ .

Con base en la ecuación precedente se calcula la unidad *chimiotox* o  $UC_i$ :  $UC_i = Carga_i \times F_{tox\ i}$ . Luego se suman las unidades *chimiotox* de cada contaminante para definir el índice *chimiotox* (IC) y así conocer la carga de contaminantes de un efluente, y por ende, la calidad del agua correspondiente.

Otra forma de encarar el problema es a través de la definición de indicadores ambientales que en forma indirecta proporcionan la información requerida. Los indicadores son variables o valores derivados de variables, que proveen información acerca de un fenómeno (BARRIOS ORDOÑEZ y GONZÁLEZ MORA, 1999).

Las variables utilizadas por los autores antes mencionados son  $DBO_5$  (demanda bioquímica de oxígeno),  $N-NH_3^-$  (nitrógeno amoniacal), OD (oxígeno disuelto) y CF (coliformes fecales). Este enfoque facilita el análisis, aunque de todos modos tan sólo proporciona elementos acerca del efecto de los procesos de degradación hídrica sin dar una idea completa de los ciclos energéticos y entrópicos que tienen lugar en los sistemas hídricos.

## JUSTIFICACIÓN DE UN INSTRUMENTO DE ANÁLISIS ENTRÓPICO DEL AGUA

Cuando llega el momento de la toma de decisiones en materia hídrica, los tomadores de decisión, deben hacer frente a una amplia gama de datos y elementos de la realidad, que incluyen aspectos geográficos, geológicos, ecológicos, hidrológicos, socio-culturales y tecnológicos. A éstos se agregan los índices de calidad del agua o indicadores, cuya lectura no es siempre sencilla.

En materia hídrica, como en otros campos análogos, las decisiones finales suelen ser de tipo político, y en la mayor parte de los casos su elemento definitorio es de orden económico.

Ahora bien, en los análisis económicos que llevan a la adopción de políticas públicas de agua, la evaluación del "valor" del recurso toma en cuenta solamente los aspectos de valor monetario. Para agravar esta situación en muchos casos se considera que el agua es un recurso inagotable, bastando construir suficientes bienes de capital, tales como presas o baterías de

pozos, para obtenerla. En los hechos, se desconoce la pérdida de valor resultante de su utilización y por ende del costo requerido para devolverle a un valor que permita su reutilización. En la medida que se pueda asignar un valor “natural” al agua, expresado en un índice único que muestre el grado de degradación entrópica, más fácil ha de ser realizar un análisis y toma de decisión sobre bases ciertas y firmes.

## **TEORÍA DE LA GESTIÓN DE AGUAS: LA GESTIÓN ENTRÓPICA**

### **EL CONCEPTO DE ENTROPÍA**

La entropía es un concepto complejo, que busca describir la dirección natural de los procesos físicos en el universo. Éstos tienden a darse desde ordenado a lo desordenado, de lo heterogéneo a lo homogéneo. La energía concentrada en un lugar del espacio tiende a difundirse en todas direcciones. Localmente dicha difusión puede verse obstaculizada por otras fuerzas físicas, como la atracción gravitacional. Estas barreras a la difusión global de la energía producen sistemas casi cerrados que constituyen ámbitos circunscritos donde actúa la ley de la entropía. Si los cuerpos celestes no emitieran ni recibieran energía (o su versión concentrada: la materia) se podrían considerar como sistemas cerrados y para estos casos se podría aplicar la Segunda Ley de la Termodinámica cuyo enunciado sostiene: **“La entropía de un sistema cerrado nunca disminuye y cada vez que es posible aumenta”**. En la realidad el único sistema totalmente cerrado es el universo entero, y es a él que se aplica el concepto antes mencionado.

El concepto de entropía también se aplica a los sistemas abiertos (o semiabiertos). Del mismo modo, éstos tienden a desordenarse y uniformizar su materia y niveles de energía. Debido a su carácter abierto, pueden experimentar procesos locales de disminución de la entropía que se explican por un aumento de la entropía en otro lugar. El balance general es un incremento de la entropía. La evolución geológica de la Tierra es el resultado de la interferencia de dos tendencias entrópicas, la del Sol que en su maduración difunde y por ende “comparte” su energía, y la de la propia Tierra que, en forma similar, aunque menos intensa, está irradiando continua y a veces insensiblemente su caudal energético. Desde el punto de vista práctico, la entropía se manifiesta en un conjunto de fenómenos físicos que, dadas las condiciones apropiadas, tienen lugar en una única dirección.

### **EL VALOR ENTRÓPICO DEL AGUA**

El volumen de agua del planeta es finito pero su potencial teórico para el uso es ilimitado. Lo que en verdad está acotado es la rapidez del flujo. Éste depende sobre todo de la energía, y la energía disponible en la superficie de la Tierra es limitada, casi enteramente suministrada por

la radiación solar. Otro factor limitante a largo plazo es la irreversibilidad final de su degradación entrópica, que si bien se expresa sobre todo a escalas temporales muy grandes, puede ser acelerada a través de la intervención humana.

La contaminación ambiental puede ser percibida como el resultado de la descarga de material y calor en el ambiente (agua, aire y/o suelo) por alguna actividad antrópica de producción o consumo. Cuando un compuesto es adicionado al agua, el componente se disuelve y mezcla en el medio. Esta disolución y mezcla implica un aumento en la entropía de la solución y un incremento en el grado de contaminación, lo que sugiere que un incremento en entropía implica una contaminación del agua. La contaminación del agua puede entonces verse como un proceso donde el agua que inicialmente es de baja entropía, eventualmente se regrese al medio con una entropía superior debido al uso antrópico que le fue dado y por lo tanto aumenta la entropía del ambiente que la recibe (SING, 2000).

El **valor entrópico** del agua es en realidad su valor evaluado en el marco de la evolución entrópica de la vida en el planeta. Se trata de un valor que disminuye a medida que aumenta la entropía, y que por ende podría denominarse con más rigor: valor “anti-entrópico”. Como los seres humanos consideran que la entropía es en los hechos una desvalorización de los recursos, se utilizará la expresión valor entrópico para definir la ausencia de desvalorización, o dicho de otro modo, la ausencia de entropía.

El valor entrópico del agua se relaciona con la energía consumida / utilizada para llevar al líquido a un estado de menor entropía que se busca establecer. En ese sentido, el valor entrópico está dado por la energía requerida para obtener una determinada calidad de agua a partir de un nivel de referencia.

En los sistemas naturales el mayor valor entrópico se logra a partir de la condensación del vapor de agua de la atmósfera en las nubes y su precipitación a través de las lluvias, de la nieve o del granizo. La caída del agua, tanto como su escurrimiento posterior rumbo a niveles menores de energía potencial, implica un aumento de la entropía y por ende una pérdida del valor entrópico del recurso.

Luego de precipitada, el agua de lluvia se escurre y/o infiltra, y en su flujo disuelve e incorpora sustancias dando lugar a pérdidas adicionales de valor entrópico. Al mismo tiempo que fluye, el agua se transforma, cada vez más, en un medio adecuado para el desarrollo de organismos vivos. Las funciones fisiológicas fotosintéticas pueden producir, localmente, una valorización entrópica del recurso, mientras que el resto de las funciones metabólicas tienden a disminuir el valor. El efecto acumulado de estos procesos lleva a un aumento de la entropía del agua.



Por otro lado, el uso humano del agua es un factor que acelera el deterioro creciente de su valor, que se agrega a la degradación debida a procesos naturales.

La agricultura de irrigación, tipo de uso hídrico mayor, cuando se considera en términos de volumen, utiliza aguas de una cierta calidad y las regresa al medio natural con una calidad menor. La pérdida de valor debido a la agricultura depende de las prácticas y sistemas de irrigación utilizados. En algunos casos, se utiliza agua de alta calidad (mayor valor entrópico) y se vierte muy contaminada por agroquímicos o sales (menor valor entrópico). En ese caso, la pérdida de valor es muy grande.

Las ciudades, en cambio, a pesar de consumir menos agua que la agricultura, tienden a ser grandes degradadoras del agua. En su mayor parte, toman el agua de la naturaleza, la someten a ciertos tratamientos de potabilización (que consumen energía), elevando su valor entrópico, y luego la arrojan al medio cargada de numerosos contaminantes. La reutilización de las aguas residuales urbanas, que significa elevar nuevamente el valor entrópico, requiere grandes cantidades de energía, que muchas veces están fuera del alcance de las sociedades en cuestión.

Por su parte, las actividades industriales tienen en general, aunque no siempre, intensos efectos nocivos sobre los recursos hídricos. El potencial de degradación del agua de la actividad industrial es muy grande.

En la práctica se han aplicado diversas metodologías para calcular el valor de la calidad del agua. Si bien un método basado en el valor entrópico no puede ser fácilmente expresado en términos cuantitativos, pero si constituye un instrumento para definir, aunque sea cualitativamente, las escalas de valor requeridas para la formulación de estrategias apropiadas para optimizar la utilización de los recursos hídricos disponibles.

## **EL CICLO ENERGÉTICO DEL AGUA**

Una forma de presentar el ciclo hidrológico es a través de los intercambios de energía que se producen en los diferentes procesos por los cuales el agua cambia de estado, de propiedades físicas o químicas, o de posición en el espacio. La mayor parte de la energía consumida en el ciclo hídrico proviene (directa o indirectamente) de la radiación solar. Sin embargo, existe una proporción menor que proviene de fuentes geotérmicas, dando lugar al calentamiento de las aguas subterráneas, y de ciertos manantiales hidrotermales. En la Tabla 2 y la Figura 1 se presenta una lista de los fenómenos y procesos del ciclo energético- hidrológico.

## **LOS SISTEMAS NATURALES DE RECICLADO**

Todas las aguas residuales que no son recicladas artificialmente se integran al ciclo hidrológico y quedan sometidas a los sistemas naturales de reciclado. La capacidad planetaria de reciclado natural del agua es limitada, tanto local como globalmente. A nivel local, las aguas suelen permanecer durante un cierto tiempo con sus condiciones de calidad deteriorada, hasta ser evacuadas al mar o evaporadas, reintegrándose, más tarde, en ambos casos, al sistema natural bajo la forma lluvias, nieves o granizos.

A nivel global, las aguas residuales no tratadas tienden a diluirse en océanos, mares y lagos, incorporándose a éstos y disminuyendo su calidad. Este proceso es claramente visible en la cercanía de las costas en donde las características de las aguas marinas se ven sensiblemente deterioradas por los aportes de ciudades e industrias. Las aguas del mar son aguas superficiales de gran entropía (y por lo tanto con bajo valor entrópico). Este valor natural, ya reducido, se ve disminuido aún más por la acción humana.

## **CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DEL AGUA**

Para clasificar el agua de acuerdo con su valor entrópico se han usado una serie de criterios, que se relacionan a la vez con procesos de tipo entrópico y con los requerimientos de energía necesarios para llevar las aguas desde los niveles inferiores (de menor valor entrópico) a otros superiores. En algunos casos, cuando los procesos son irreversibles, esta “elevación” de nivel entrópico puede no ser factible.

Los principales criterios utilizados son los siguientes:

- El valor entrópico tiende a declinar a medida que el agua desciende, liberando energía potencial. El agua de las nubes o de las montañas es más valiosa que la de los ríos, del mar o de los acuíferos de llanura;
- El valor entrópico también disminuye al incrementarse la concentración de sustancias disueltas;
- El valor entrópico baja al aumentar los organismos heterótrofos (no fotosintéticos). Los fotosintéticos tienen el efecto inverso durante el tiempo que actúa la función fotosintética. También disminuye el valor entrópico al aumentar la concentración de materia orgánica. Luego de un cierto umbral, el aumento de la entropía (consecuentemente disminución de su valor entrópico), puede llevar a la reducción e incluso desaparición de los procesos vitales y materia orgánica;

- ☑ El valor entrópico desciende al crecer la contaminación de las aguas (toxicidad para las diferentes formas de vida).
- ☑ Las causas que pueden disminuir la calidad del agua son variadas, algunas son naturales y otras se derivan del tipo de utilización. Por esa razón, puede haber aguas con características muy diferentes que estén clasificadas al mismo nivel. La razón es que todas ellas requieren cantidades comparables de energía para ser llevadas a los niveles de referencia.

En la Tabla 3 se presentan los diferentes tipos de aguas clasificadas de acuerdo con su nivel (valor), así como la utilización posible, su posición geológica y la presencia de vida.

### ADJUDICACIÓN DE VALOR ENTRÓPICO

Para calcular el valor entrópico se propone un método mixto, cualitativo - cuantitativo. En primer lugar se adjudican valores entrópicos a las aguas de acuerdo con los criterios antes mencionados, otorgando 10 al valor entrópico máximo (aguas de las nubes altas, recién condensadas), y 0 a las aguas marinas de salinidad media no contaminadas. Los valores intermedios se asignan combinando diversos criterios cuantitativos y cualitativos. Los valores negativos se adjudican a las aguas hipersalinas o altamente contaminadas. Para calcular el valor entrópico se propone utilizar la siguiente ecuación:

$$VE = 1 - \left( \frac{10 - NE}{Mc} \right)$$

Donde: **VE**: es valor entrópico; **NE**: es el nivel entrópico (definido cualitativamente) y **Mc**: son las megacalorías requeridas para evaporar 1 m<sup>3</sup> de agua a 15° C de temperatura y a la presión del nivel del mar. De acuerdo con la ecuación anterior los diferentes niveles entrópicos corresponderían a los valores presentados en la tabla 4.

### PARÁMETROS PARA DEFINIR LOS NIVELES DE VALOR ENTRÓPICO

La disminución del valor entrópico es un fenómeno natural que ocurre a partir del momento en que el vapor de agua se condensa formando nubes, y especialmente cuando se precipita al suelo. En ese momento las aguas comienzan a fluir perdiendo energía potencial, aumenta la salinidad, y se carga de organismos y materia orgánica. El proceso suele ser revertido local y temporalmente, por ejemplo, debido a la acción fotosintética de las algas u otras plantas, por el filtrado del agua en ciertas formaciones geológicas apropiadas, o a la interacción de éstos u otros factores. Esto último ocurre en los casos en que la salinidad es demasiado elevada, o

alguna otra condición físico-química como el pH o la temperatura, en general condiciones limitantes para la vida. La tendencia general en las condiciones habituales de los paisajes terrestres es hacia el aumento de la salinidad y del contenido en materia orgánica.

Por esa razón se puede medir la calidad entrópica a través de una escala mixta con base en los sólidos disueltos totales (SDT) y/o en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Normalmente, el uso antrópico del agua produce una aceleración de estos procesos y por ende es posible utilizar el mismo método para evaluar la calidad de los residuos líquidos.

La mayor parte de las aguas residuales domésticas están cargadas de materia orgánica y organismos descomponedores (p.ej. bacterias y protozoarios), y normalmente poseen tasas de sólidos disueltos totales mayores que las aguas originales. En esos casos, los niveles de SDT y DBO suministran una buena medida del cambio de la calidad.

Los niveles de DBO admisibles (en mg/l), de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas, para aguas vertidas a los cuerpos de aguas naturales han de ser inferiores a 150 en el agua fluvial destinada a irrigación, 75 en la de uso urbano, 30 en los ríos destinados a protección de la vida acuática, 75 en las aguas costeras dedicadas a la recreación y nulos en las aguas potables (NOM, 1996).

Sin embargo, hay ciertas aguas residuales, particularmente de origen industrial, cuya toxicidad puede impedir la vida de los organismos. En esos casos la DBO no es una medida adecuada para determinar la materia orgánica no biodegradable y puede ser sustituido por la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

En ciertas situaciones se agregan otros procesos de disminución del valor entrópico, que son difícilmente cuantificables a través de la DBO o de la DQO. Son los casos en donde la presencia de metales y de otros contaminantes potencialmente tóxicos están en suspensión o en solución en el agua.

Allí puede ser necesario agregar un parámetro adicional compuesto (metales y otros contaminantes: MOC) donde se incluyen las concentraciones de metales (p.ej. Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Cr, Ni, Fe y Al) y de otras sustancias tóxicas (arsénico, cianuro, fenoles, etc). En las Tablas 5, 6, 7 y 8 se presentan las concentraciones correspondientes a cada uno de los niveles entrópicos.

En la Tabla 5, se detallan las concentraciones máximas permisibles de metales y otros contaminantes para que las aguas puedan ser descargadas en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal de acuerdo a las normas mexicanas (NOM, 1996). En la Tabla 6, se presentan las concentraciones máximas permitidas para que las aguas puedan ser vertidas en cuerpos de agua naturales y en la Tabla 7, se incluyen las concentraciones máximas

permisibles para agua potable. Los niveles de SDT, DBO, DQO y MOC aproximados propuestos para cada tipo de calidad entrópica del agua son presentados en la Tabla 8.

A estas calificaciones hay que agregar las condiciones de energía potencial, relacionadas con la posición gravitacional del agua considerada. Ésta se expresa en altura en metros sobre el nivel de base local de la cuenca. Esta energía puede ser positiva en el caso de las aguas superficiales y las aguas subterráneas más someras, o negativa en las aguas subterráneas más profundas.

A medida que el agua desciende en su nivel de valor entrópico resulta más oneroso, desde el punto de vista de la energía requerida, regresarla a las condiciones óptimas de uso. El agua salada puede ser desalinizada natural o artificialmente y en ambos casos se requiere energía.

Las aguas con mayor DBO o DQO pueden depurarse como resultado de procesos naturales (basados en la energía solar) o tratarse artificialmente en plantas apropiadas, cuya operación también requiere energía. La depuración biológica o química de las aguas que contienen metales u otras sustancias tóxicas análogas, en cambio, puede dar lugar a acumulaciones tóxicas en la biota, en los suelos y / o en sedimentos. Estas aguas pueden ser tratadas y, consecuentemente, las concentraciones de metales o sustancias tóxicas pueden ser reducidas. De cualquier manera, los procesos requeridos para lograr una descontaminación significativa suelen entrañar un costo energético prohibitivo.

Finalmente, como resultado del flujo gravitacional (pérdida de energía potencial) el agua también se “encarece” energéticamente, pues para su utilización hay que “elevar” físicamente el agua a los sitios de consumo con el consiguiente aumento del costo.

### **RELACIÓN APROXIMADA ENTRE EL VALOR ENTRÓPICO, LA DBO Y LA DQO**

Se ha procurado establecer una relación entre el Nivel Entrópico, el Valor Entrópico calculado por medio de la ecuación previamente presentada, y las DBO y DQO que se observan en las aguas naturales y/o residuales. Dicha relación es aproximada, pero permite presentar en términos cuantitativos los diferentes niveles y valores. En la Tabla 9, se presentan las equivalencias propuestas entre dichos niveles y parámetros.

### **COSTO ENERGÉTICO**

El costo energético requerido para elevar la calidad del agua de un nivel a otro varía de acuerdo con el tipo de degradación entrópica que han sufrido las aguas y con la tecnología utilizada. En los ambientes naturales el reciclado se produce naturalmente y el gasto energético es la energía solar radiante requerida para evapotranspirar u oxigenar las aguas

degradadas llevándolas al nivel de referencia necesario. En los sistemas artificiales el reciclado o de potabilización tiene lugar mediante el tratamiento de las aguas utilizando varios métodos y fuentes de energía. El gasto energético para evaporar agua de los cuerpos de agua naturales a una temperatura ambiente de 20° C es de 600,000 kcal por m<sup>3</sup>.

## **LOS COSTOS DEL RECICLADO ARTIFICIAL**

Las aguas degradadas o salinizadas (con nivel entrópico bajo) pueden ser recicladas o potabilizadas por medio de procedimientos artificiales. Las tecnologías utilizadas para ello son diversas. Los métodos más económicos son los biológicos (p.ej. lagunas de estabilización) que, por lo general, son sistemas apropiados para pequeños caudales (ciudades chicas y medianas). Para caudales mayores, provenientes de grandes zonas urbanas e industriales, se utilizan normalmente plantas de tratamiento más complejas con procesos tanto biológicos como físico-químicos, que incluyen además el reciclado, descarte y/o incineración de lodos residuales. En ambos casos (métodos biológicos y físico - químicos) el producto obtenido no posee calidad potable. Para lograrla, se requiere utilizar métodos todavía más sofisticados y onerosos energéticamente.

La diferencia entre estos métodos es el costo. Los métodos biológicos son los más económicos, y, en general, requieren gastos de operación mínimos que, son variables de acuerdo con las condiciones geográficas del lugar, pero normalmente inferiores a 0.01 U\$ por m<sup>3</sup>.

Los métodos físico – químicos (aguas de origen industrial) exigen inversiones considerables, del orden de 1,000 a 2,000 M. de dólares para un caudal de aguas residuales de 5 a 10 m<sup>3</sup> por segundo. Los gastos operativos son variables de acuerdo con las condiciones de cada caso pero, en promedio, pueden ser estimados en un 0.03 U\$ por m<sup>3</sup> de agua tratada. Si se agrega el costo de depreciación del capital, el costo sería algo mayor, cercano a 0.05 U\$ por m<sup>3</sup> (CUM, 1999; TRIPOWER SYSTEMS, 1997, SATO et al., 2007).

Los sistemas evaporativos son aún más costosos. La desalinización de 1 m<sup>3</sup> de agua de mar cuesta unos 3 U\$\$ dólares por metro cúbico utilizando energía solar, mientras que usando combustibles fósiles o energía eléctrica el costo sería varias veces mayor (US\$ 10 a 50 dólares por m<sup>3</sup> dependiendo del costo del petróleo o de la energía eléctrica en cada lugar y sin considerar subsidios del Estado en el coste energético).

En términos de niveles entrópicos, el agua urbana e industrial tratada no excede el nivel entrópico 4 o 5, mientras que el agua evaporada/destilada alcanza un nivel 8 o 9. Ello muestra las limitaciones de la tecnología, aún extremadamente dependiente en el ciclo natural.

Así pues, los costos aumentan en forma logarítmica a medida que se eleva el nivel entrópico. Con la tecnología disponible, llevar el agua del nivel 1 o 2 al nivel 5, cuesta aproximadamente unos 0.03-0.05 U\$S por m<sup>3</sup>, mientras que llevarla hasta el nivel 8, cuesta 100 a 300 veces más caro (3 a 10 U\$ dólares).

De la Tabla 10, se desprende como regla general aproximada que el valor en U\$ se duplica o triplica para cada nivel, es decir, que desvaloriza dos o tres veces al descender un nivel. En realidad el costo monetario depende de la tecnología y de las cantidades de aguas residuales producidas/tratadas en un lugar dado.

Sin duda alguna, nuevas tecnologías más apropiadas podrían disminuir esa diferencia a 1.5 o 1.8 entre los niveles.

Lo expresado anteriormente depende de varios elementos que pueden modificar substancialmente los resultados. El más importante es la tecnología, el costo tecnológico aumenta geoméricamente cada vez que se busca elevar un nivel más la calidad del agua. Por esa razón se considera necesario aplicar un coeficiente tecnológico que le otorgue sentido y dimensión ilustrativa al valor entrópico.

Así pues, se propone multiplicar el valor entrópico  $V_e$  por un coeficiente tecnológico de valor 1 para las aguas con valor entrópico 0 (aguas marinas) duplicándolo para cada salto de nivel sucesivo. Esta duplicación trata de responder a las dificultades tecnológicas crecientes a medida que se procura aumentar la calidad del agua. En el último salto (de nivel 9 a nivel 10; equivalente a valores entrópicos de 0.99 y 1.00 respectivamente), el coeficiente tecnológico así calculado es igual a 512. Así el valor corregido  $V_c$  se obtiene multiplicando el valor entrópico por el coeficiente tecnológico. En la Tabla 11, se presentan los coeficientes tecnológicos utilizables para cada nivel, y el valor corregido de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_c = V_e \cdot C_t$$

Donde,  $V_c$  : es el valor corregido;  $V_e$  : es el valor entrópico; y  $C_t$  : es el coeficiente tecnológico.

## CONCLUSIONES

Sin duda alguna, la compleja problemática hídrica presente en la mayoría de los países en vías de desarrollo, así como la creciente escasez de energía fósil disponible, se han convertido en variables críticas de desarrollo de estos pueblos. En efecto, en estos países descentralizados, algunos caracterizados por la escasez de recursos hídricos y otros por el exceso o bien por la

alta degradación del recurso, pero en todos los casos con una inminente necesidad de coordinación y articulación intersectorial, social, científica y política para poder llevar a cabo una mejor toma de decisiones. No será sino bajo un contexto de consenso y racionalidad que podrán solucionarse los problemas de índole hídrica, más aún, sólo podrán tener sostenibilidad creando y / o fortaleciendo las capacidades locales con un enfoque regional basadas en la gestión y apropiación del conocimiento.

Finalmente, es necesario señalar que no se trata de modificar la estructura sectorial existente, ni la división de poderes y responsabilidades, ni mucho menos desaparecer las instituciones, sino por el contrario darles el sentido adecuado para el cual fueron diseñadas y constituidas articulando esfuerzos, coordinando planes, programas, proyectos y acciones para maximizar los beneficios y bienestar social y ambiental con la menor inversión posible.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ANTÓN, D., DÍAZ-DELGADO, C., ESTELLER, M.V., QUENTIN, E., GARCÍA, J.A. y BÂ, K.M., (2005), Una propuesta de gestión entrópica de recursos hídricos, en: DÍAZ-DELGADO, C., ESTELLER, M.V., LÓPEZ-VERA, F. (2005), Recursos hídricos: Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica, Red Iberoamericana de potabilización y depuración del agua (RIPDA-CYTED), Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) y Piriguazú Ediciones. VIII77-VIII91 pp. (México y Uruguay).
- BARRIOS-ORDOÑEZ, J.E., GONZÁLEZ-MORA, I.D., (1999), Indicadores ambientales de la calidad del agua, Instituto de Ingeniería – UNAM, México y Red Nacional de Monitoreo, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Comisión Nacional del Agua, México, No. 42, mayo-junio.
- BISWAS, A.K., (2004), Integrated water resources management: a reassessment a water forum contribution, Water International Journal, vol. 29, num.: 2, 248-256 pp., IWRA
- CAP-NET, UNESCO-IHE, NILE IWRM NET, LA-WETNET, AGUAJARING, UNDP (2008), Performance and capacity of river basin organizations: cross-case comparison of four RBO's, 64 pp.
- CUM, (1999) Communauté Urbaine de Montreal, <http://www.cum.qc.ca/cum-an/station/couxstaa.htm>.
- DENIZEAU, F. & RICARD, A.C.(1998). Analyse du modèle CHIMIOTOX du point de vue de ses implications toxicologiques. **Rev. Sci. Eau** 11 (4): 537-554.



EMBED, A. (2003) The transfer from the Ebro basin to the mediterranean basins as a decision of the 2001 National Hydrological Plan: the main problems posed. International Journal of Water Resources Development, 19:399-411.

NOM, (1996), Normas Oficiales Mexicanas, NOM-127-SSA1-1994; NOM-001-ECOL-1996; NOM-002-ECOL-1996; NOM-003-ECOL-1997.

RAHAMAN, M.M. & VARIS, O. (2005) Integrated water resources management: evolution, prospects and future challenges, Sustainability: Science, Practice, & Policy, <http://ejournal.nbii.org>, 15-21 pp.

SINGH, V.J., (2000), The entropy theory as a tool for modelling and decisión-making in environmental and water resources, Water SA, vol. 26, No.1, 1-12 pp., <http://www.wrc.org.za>

TRIPower SYSTEMS, L.L.C. (1997) American Power Conference, 1997 Annual Meeting, Chicago, Illinois, <http://www.tripowersystems.com>.

**Tabla 1. Poneración de los parámetros de calidad del agua**

Parámetro	Ponderación	Parámetro	Ponderación	Parámetro	Ponderación
1. pH	1.0	7. Conductividad eléctrica	2.0	13. Cloruros	0.5
2. Color	1.0	8. Alcalinidad	1.0	14. Oxígeno disuelto	5.0
3. Turbiedad	0.5	9. Dureza total	1.0	15. DBO <sub>5</sub>	5.0
4. Grasas y aceites	2.0	10. N Nitratos	2.0	16. Coliformes totales	3.0
5. Sólidos suspendidos	1.0	11. N amoniacal	2.0	17. Coliformes fecales	4.0
6. Sólidos disueltos	0.5	12. Fósforo total	2.0	18. Detergentes	3.0

**Tabla 2. Lista de fenómenos y procesos del ciclo energético- hidrológico**

Fenómenos y procesos	Comportamiento energético asociado al fenómeno/ proceso	Símbolo
Condensación del vapor de agua atmosférico	Absorbe	Cva
Precipitaciones	Liberación de energía potencial, cinética	P

Evaporación durante la caída	Absorción de energía	Ep
Impacto de las precipitaciones	Liberación de energía	I
Evaporación asociada a la interceptación vegetal	Absorción	Ei
Infiltración	Libera energía potencial	In
Escurrimiento	Libera energía potencial, cinética	es
Erosión y transporte de materiales en suspensión	Libera energía potencial y cinética	et
Disolución y transporte de sales disueltas	Absorción y liberación de energía química, liberación de energía potencial	Dt
Evaporación directa de las aguas continentales	Absorción	Ed
Transpiración (biológica)	Absorción	T
Fotosíntesis (desarrollo organismos autótrofos)	Absorción	F
Metabolismo de organismos autótrofos	Liberación de energía química/ térmica	M
Descomposición y metabolismo de organismos heterótrofos	Liberación de energía química/ térmica	D
Evaporación oceánica	Absorción	Eo
Ascenso convectivo	Absorción	Ac
Calentamiento geotérmico	Absorción	Cgt
Ascenso hidrotermal y volcánico	Absorción	Ahv

**Tabla 3. Nivel entrópico de las aguas**

Nivel entrópico	Aguas naturales		Utilización del agua natural	Aguas residuales o contaminadas	Posición geológica	Presencia de vida
	Aguas superficiales, atmosféricas	Aguas subterráneas				
<b>10</b>	Nubes altas, recién condensadas		Agua destilada		Atmosférica, elevada	Organismos muy escasos, pocos nutrientes

<b>9</b>	Nubes bajas,		Agua potable		Atmosférica, baja	Organismos escasos, pocos nutrientes
<b>8</b>	lluvia, nieve					
<b>7</b>	Manantiales, torrentes de montañas		Aguas termales		Cimas, cabeceras valles	Organismos de abundancia escasa a intermedia
<b>6</b>	Cursos altos de ríos, lagos de montaña	Capas hipodérmicas de agua dulce	Aguas para riego	Lluvia moderadamente ácida	Zonas montañas, sierras, colinas elevadas, mesetas	Organismos de abundancia intermedia
<b>5</b>	Cursos medios de ríos, lagos medios, emisarios de ciertos humedales	Capas hipodérmicas, acuíferos poco profundos no contaminados	Aguas para riego	Lluvia muy ácida	Zonas de colinas, sierras bajas, subsuelo de poca profundidad	Organismos abundantes
<b>4</b>	Cursos bajos de río, lagos de llanura,	Agua subterránea profunda dulce. Poco profunda ligeramente salobre.	Aguas para riego	Drenajes de riego, agua residual tratada	Llanuras, colinas bajas subsuelo medianamente a muy profundo.	Organismos muy abundantes en ríos y lagos, localmente exceso de nutrientes. Vertidos de aguas de riego pueden provocar procesos de eutrofización.
<b>3</b>	humedales oxigenados					
<b>2</b>	Lagos y humedales eutrofizados	Agua subterránea profunda ligeramente salobre; aguas poco profundas salobres	Aguas para lavado	Drenajes de riego, agua residual parcialmente tratada	Zonas bajas, áridas, subsuelo de profundidad variable	Organismos muy abundantes en los lagos salobres. Los vertidos de aguas de riego pueden provocar procesos de eutrofización.
<b>1</b>	Lagos salobres					
<b>0</b>	Mares y lagos salados	Agua subterránea salada.	Aguas balnearias	Vertidos urbanos e industriales medios	Nivel del mar, zonas continentales deprimidas, subsuelo de profundidad variable	Organismos muy abundantes en mares y lagos, escasos en vertidos urbanos. Los vertidos urbanos provocan frecuentes procesos de eutrofización.

<b>0 a -5</b>	Salmueras	Salmueras subterráneas	Producción de sal	Vertidos urbanos e industriales altamente contaminados	Salmueras subterráneas	Escasos organismos debido a la toxicidad, procesos de eutrofización posibles localmente
< -5	Salinas	Yacimientos de sal	Producción de sal industrial	Vertidos industriales de alta toxicidad	Yacimiento de sal	Ausencia de organismos

**Tabla 4. Valor entrópico correspondiente para cada nivel entrópico**

<b>Nivel entrópico</b>	<b>Valor entrópico correspondiente</b>
10	1.00
9	0.99
8	0.96
7	0.91
6	0.84
5	0.75
4	0.64
3	0.51
2	0.36
1	0.19
0	0
0 a -5	-0.21 a -2.25
< -5	< -2.25

**Tabla 5. Límites permisibles de metales y otros contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal (MOC, promedio diario, en µg/l)**

<b>Metales</b>	<b>Máximo tenor permitido (µg/l)</b>
Zinc	9.0
Cobre	15.0
Cadmio	0.75

Cromo hexavalente	0.75
Plomo	1.5
Níquel total	6
Mercurio	0.015
<b>Otros contaminantes</b>	
Arsénico total	0.75
Cianuro total	1.5
Grasas y aceites	75

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996

**Tabla 6. Límites permisibles de metales y otros contaminantes en las aguas residuales tratadas que se descarguen en ríos, para protección de la vida acuática (MOC, promedio diario, en  $\mu\text{g/l}$ )**

Metales	Máximo tenor permitido ( $\mu\text{g/l}$ )
Zinc	20
Cobre	6
Cadmio	0.2
Cromo total	1
Plomo	0.4
Níquel total	4
Mercurio	0.01
<b>Otros contaminantes</b>	
Arsénico total	0.2
Cianuro total	2

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996

**Tabla 7. Límites permisibles de metales y otros contaminantes para agua potable (MOC, promedio diario, en  $\mu\text{g/l}$ )**

Metal	Máximo tenor permitido ( $\mu\text{g/l}$ )
Zinc	5.0
Cobre	2.0
Hierro	0.3
Aluminio	0.2
Manganeso	0.15

Cromo total	0.05
Plomo	0.025
Mercurio	0.001
<b>Otros contaminantes</b>	
Arsénico	0.05
Cianuros (CN-)	0.07
Nitratos (como N)	10.0
Nitritos (como N)	0.05
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994

**Tabla 8. Nivel entrópico de las aguas medido con base en DBO, DQO, STD y MOC.**

Nivel entrópico	Aguas naturales superficiales		Aguas residuales o contaminadas				Aguas subterráneas	Salinidad STD, ppm
	Tipo de agua superficial	DBO <sub>5</sub>	Tipo agua residual	DBO <sub>5</sub> *	DQO*	MOC Metales y otros contaminantes		
<b>10</b>	Nubes altas, recién condensadas	0						0-10
<b>9</b>	Nubes bajas, lluvia, nieve	0						10-40
		0						40-80
<b>8</b>								
<b>7</b>	Manantiales, torrentes de montaña	<10 mg/l				Por debajo de los límites establecidos en el nivel 7		80-150
<b>6</b>	Cursos altos de ríos, lagos de montaña	10-20 mg/l	Lluvia moderada mente ácida	0		Límites máximos para agua potable (Ver Tabla 5)	flujos subsuperficiales, manantiales de agua dulce	150-300
<b>5</b>	Cursos medios de ríos, lagos medios, emisarios de ciertos humedales	20-30 mg/l	Lluvia muy ácida	0		Concentraciones intermedias entre niveles 2 y 6	Agua subterránea poco profunda, dulce	300-600
<b>4</b>		30-45 mg/l	Drenajes de			Concentración		

<b>3</b>	Cursos bajos de río, lagos de llanura, humedales oxigenados	45-60 mg/l	riego, agua residual tratada	0-60 mg/l	0-120 mg/l	intermedia entre niveles 4 y 7	Agua subterránea poco profunda, ligeramente salobre; agua subterránea profunda dulce	600-1000
<b>2</b>	Lagos y humedales eutrofizados Lagos débilmente salobres .	60-80 mg/l	Drenajes de riego, agua residual parcialmente tratada	60-80 mg/l	120-160 mg/l	Límites máximos para descargas en ríos (Ver Tabla 6)	Agua subterránea profunda ligeramente salobre; aguas poco profundas salobres	1000-2500
<b>1</b>								2500-5000
<b>0</b>	Lagos salobres y mares	<60 mg/l	Vertidos urbanos e industriales medios	80-200 mg/l	160-400 mg/l	Concentración intermedia entre niveles 2 y 4	Agua subterránea salada	5000-35000
<b>0 a -5</b>	Salmueras	0	Vertido urbano e industrial altamente contaminado	>200 mg/l	>400 mg/l	Límites máximos descargas alcantarillas, Ver Tabla 7	Salmueras subterráneas	35000-300000
<b>&lt; -5</b>	Salinas	0	Vertidos industriales de alta toxicidad			Por encima del límite establecido en nivel 2	Yacimientos de Sal	>300000

\* para efectos meramente estimativos se ha establecido que  $DBO_5 / DQO = 0.5$

**Tabla 9. Relación entre Valor entrópico,  $DBO_5$  y  $DQO$ .**

Nivel entrópico	Valor entrópico	$DBO_5$ Aguas naturales	$DBO_5$ Aguas residuales	$DQO$ Aguas residuales
10	1.00	0	Niveles 4 a 10 no corresponden a aguas residuales	Niveles de 4 a 10 no corresponden a aguas residuales
9	0.99	0		
8	0.96	0		
7	0.91	< 10 mg/l		
6	0.84	10-20 mg/l		
5	0.75	20-30 mg/l		
4	0.64	30-45 mg/l		

3	0.51	45-60 mg/l	0-60 mg/l	0-120 mg/l
2	0.36	60-70	60-70 mg/l	120-140 mg/l
1	0.19	70-80	70-80 mg/l	140-160 mg/l
0	0		80-200 mg/l	160-400 mg/l
0 a -5	-0.21 a -2.25	< 80 mg/l	> 200 mg/l	> 400 mg/l
< -5	< -2.25	Tiende a 0	Tiende a 0	

**Tabla 10. Costo aproximado para elevar el valor entrópico del agua**

Nivel entrópico	Valor entrópico	Para elevar del nivel correspondiente al nivel 8 (potable) (varios métodos)	Métodos bioquímicos para elevar del nivel correspondiente a un nivel 5 (para riego)	Métodos biológicos para elevar del nivel correspondiente a un nivel 5 (para riego)
		<i>Costo aproximado por m<sup>3</sup> en U\$</i>	<i>Costo aproximado por m<sup>3</sup> en U\$</i>	<i>Costo aproximado por m<sup>3</sup> en U\$</i>
10	1.00			
9	0.99			
8	0.96			
7	0.91	< 0.05		
6	0.84	0.05-0.3		
5	0.75	0.1 a 0.5		
4	0.64	0.2 a 1	0.01-0.10	
3	0.51	0.4 a 3	0.02-0.15	
2	0.36	1 a 10	0.03-0.20	0.005- 0.10
1	0.19		0.05-0.20	0.01- 0.20
0	0	3 a 30	0.10 a 0.5	
0 a -5	-0.21 a -2.25	> 30	0.5 a 10	
< -5	< -2.25		> (0.5 a 10)	

**Tabla 11. Valor entrópico corregido por avance tecnológico**

Nivel entrópico	Valor entrópico	Coficiente tecnológico	Valor corregido (debido al coeficiente tecnológico)
10	1.00	1024	1024
9	0.99	512	507
8	0.96	256	246
7	0.91	128	116



6	0.84	64	54
5	0.75	32	24
4	0.64	16	10
3	0.51	8	4
2	0.36	4	1.4
1	0.19	2	0.38
0	0	1	0
0 a -5	-0.21 a -2.25	2 a 32	-0.42 a -72
< -5	< -2.25	> 32	> -72

Figura 1. Diagrama del ciclo energético - hidrológico

