

# **PROPUESTA DE UN INDICADOR ROBUSTO DE SUSTENTABILIDAD HIDRO-SOCIAL PARA LA VALORACION DEL RECURSO AGUA EN CUENCAS**

ENRIQUE TROYO-DIÉGUEZ  
ALEJANDRA NIETO-GARIBAY  
BERNARDO MURILLO-AMADOR  
JOSÉ L. GARCÍA-HERNÁNDEZ  
LUIS F. BELTRÁN-MORALES  
ALFREDO ORTEGA-RUBIO

*Investigadores del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.,  
Programa de Agricultura en Zonas Áridas. La Paz, Baja California Sur - México*

JESÚS NAVEJAS JIMENEZ  
IGNACIO ORONA CASTILLO

*Investigadores del CESTOD en Cd. Constitución, Baja California Sur  
y del CENID-RASPA en Gómez Palacio, Durango, INIFAP - México*

## **Resumen**

La planeación del desarrollo socioeconómico, en sus variados aspectos y más ahora cuando se ha incorporado la variable ambiental, requiere de modelación numérica. La finalidad es construir y establecer los índices o indicadores que resulten de utilidad para la elaboración de pronósticos y escenarios. Para el análisis y estudio de la sustentabilidad, se aplicó la metodología del 'modelo de propiedades', donde la incógnita es una propiedad o sistema de propiedades referidas a situaciones previamente conocidas. Se define el Indicador ISHS como el Índice de Sustentabilidad Hidrosocial, que es función y guarda una relación lineal con dos indicadores, el IDHA, que es el Índice de Disponibilidad HidroAmbiental, y el ISIH, llamado Índice de Suficiencia en Infraestructura Hidráulica. De acuerdo con dichas definiciones, el ISHS es función de dos indicadores, relacionados mediante la siguiente función numérica:  $ISHS = f(IDHA, ISIH)$ . La expresión que asocia ambos indicadores con el índice de sustentabilidad ISHS se basa en relaciones lineales, donde el IDHA influye en 32% y el ISIH influye en 67% sobre ISHS. La resolución de ISHS muestra robustez y elasticidad para el estudio de los casos socio-hidrológicos que ameriten nuevas herramientas numéricas. La relación del Índice ISHS con dos indicadores fue aceptable en términos estadísticos.

## **Datos biográficos:**

**Dr. Enrique Troyo-Diéguez** – Ingeniero Agrónomo del ITESM, Unidad Noroeste, Cd. Obregón, México. Maestro en Ciencias en Uso y Conservación del Agua del Instituto Tecnol. de Monterrey, México. Dr. en Ciencias (Eco-hidrología) de la Universidad Nacional Autónoma de México, Méx. Es revisor de proyectos del CONACyT, miembro del Sistema Nacional de Investigadores y miembro de la Academia Mexicana de Ciencias. Investigador Titular en el CIBNOR, S.C.

**M.C. Alejandra Nieto-Garibay** – Bióloga de la ENEP-Iztacala de la Universidad Nacional Autónoma de México, Maestra en Ciencias Ambientales de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Estudiante de Doctorado en la Universidad de Guadalajara. Investigador Asociado del CIBNOR.

**Dr. Bernardo Murillo-Amador** - Ingeniero Agr. de la Universidad Aut. de Baja California Sur, La Paz, B. C. S., México. Maestro en Ciencias Agrícolas de la Univ. Aut. Agraria Antonio Narro,

Saltillo, México. Dr. en Ciencias (Uso y Manejo de los Recursos Naturales) del CIBNOR, La Paz, México. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Investigador Titular en el CIBNOR

**Dr. José L. García-Hernández** - Ingeniero Agr. de la Universidad Aut. Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, México. Maestro en Ciencias Agrícolas de la Univ. Aut. Agraria Antonio Narro, U. L., México. Dr. en Ciencias (Uso y Manejo de los Recursos Naturales) del CIBNOR, La Paz, México. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Investigador Titular en el CIBNOR

**Dr. Luis F. Beltrán-Morales** – Lic. en Economía de la Univ. Aut. de Baja California Sur, La Paz, B.C.S., México. Dr. en Ciencias Ambientales, EULA-Chile. Profesor de la Maestría en Economía del Medio Ambiente y Recursos Nat., UABCS. Investigador del CIBNOR, La Paz, B.C.S., Méx.

**Dr. Alfredo Ortega-Rubio** – Biólogo del Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. M. en C. y Dr. en Ciencias del I.P.N., México, D.F. ExDirector Fundador del Programa de Planeación Ambiental del CIBNOR, S.C. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel III. Asesor de diferentes agencias ambientales. Investigador Titular del CIBNOR, La Paz, BCS, Méx.

**M.C. Jesús Navejas Jimenez** - Ingeniero Agr. de la Universidad Juárez del Edo. de Durango, Venecia, Dgo., México. Maestro en Hidrociencias del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México, Méx. Investigador Titular del CESTOD, INIFAP, Cd. Constitución, B.C.S., México.

**Dr. Ignacio Orona Castillo** – Lic. en Economía Agrícola de la Univ. Aut. Agraria Antonio Narro, Coahuila, México. Dr. en Ciencias en Economía del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de Méx., Méx. Investigador del CENID-RASPA-INIFAP, Gómez Palacio, Durango, México.

## **Introducción**

Algunos hidrólogos y economistas del agua proponen un concepto funcional del agua como recurso natural o activo eco-social, entendiendo por tal la capacidad que tiene el agua de satisfacer funciones económicas, sociales y ambientales, tanto de carácter cuantitativo como cualitativo. Lo anterior significa que el agua además de ser un activo, en el marco lógico del agua entendida como factor de producción, queda supeditada a la lógica del recurso entendido como activo eco-social. Bajo este enfoque, el agua no sólo es esencial para la supervivencia biológica, sino que es indispensable para el desarrollo y sostenimiento de la economía y de la misma estructura social. El agua no es sólo una mercancía, es un imperativo central de la supervivencia, del sostenimiento, de la continuidad eco-social y de la vida misma de la comunidad (Funtowics, 1997). En la medida en la que esta multifuncionalidad es ignorada, se agudiza y se manifiesta con más intensidad el conflicto entre las diferentes funciones. Lo que ocurre, en última instancia, es que el agua pierde su carácter de recurso puesto que su deterioro impide la posibilidad de seguir realizando las funciones que satisfacía anteriormente. En consecuencia, tal perspectiva se agudiza por la gestión del agua no como un elemento aislado sino, al contrario, como la gestión del ciclo hidrológico, es decir, "...como un sistema abierto y desequilibrado en calidad asociada a la cantidad, cuyos intercambios de masa y energía con el exterior originan flujos variables en función de la energía natural generada por la radiación solar y vientos (lo que causa evaporación y demás componentes hidrológicos) y sus derivados, o de la energía artificial de manejo que el hombre puede introducir...". El corolario que para la gestión del agua se deriva de este enfoque ya no puede limitarse a aumentar las entradas al sistema sin atender lo que ocurre dentro del mismo, sino que debe orientarse a reducir las pérdidas en cantidad y calidad que se producen en su matriz, buscando mejorar la eficiencia de los usos y desalentando los más ineficientes y dispendiosos en los territorios cuyas escasas dotaciones así lo justifiquen.

En el caso del noroeste de México, es destacable que una amplia extensión de las cuencas prioritarias está constituida por agroecosistemas, en los que ocurren entradas y salidas de

materiales y energía. En la medida en la que esa energía pretende exclusivamente maximizar la producción, genera fuertes pérdidas (nutrientes, humus, etc.) que no sólo disminuye la rentabilidad agropecuaria, pues requieren la reposición de abonos y otros insumos, sino que además altera el ciclo del agua. Ello afecta la eficacia en las recargas subterráneas, causa mayor evaporación, menor amortiguamiento de avenidas, mayor turbiedad y mayor erosividad de los cauces (Browning, 1979; CNA, 2003).

**Valoración del agua con fines de gestión eco-social.** El concepto y valoración del agua como activo eco-social se fundamenta en que depende del ciclo del agua, mientras que la noción de agua como factor de producción sólo es compatible con la anterior en la medida en la que el marco institucional constituye el reflejo fiel de esa noción de activo eco-social y en la medida en la que los comportamientos de los usuarios pueden ser orientados hacia esa “lista limitada de acciones” o de usos que mostraría el ‘principio’. Según lo anterior, no nos apropiamos de recursos sino más bien de ecosistemas, en el que el cierre de los ciclos es la gestión adecuada. Por otro lado, la noción de agua como activo financiero es incompatible con la gestión renovable del recurso puesto que esa noción incorpora el agotamiento del recurso. De hecho, el recurso no cuenta como tal sino en la medida en la que proporcione una rentabilidad similar a la del resto de los activos financieros con un nivel de riesgo parecido. En el noroeste de México incluyendo estados tan dinámicos como Baja California y en pleno desarrollo como Baja California Sur, aparentemente se acepta la noción de activo eco-social. De hecho, las reformas de la Ley de Aguas señalan, en su exposición de motivos, “...la necesidad de otorgar la máxima protección a dicho recurso natural como bien medioambiental de primer orden..”. Como conclusión a este respecto, el principio básico debe basarse en el hecho de que el agua no es un bien económico que pertenezca a una empresa, cuenca o país, sino un patrimonio común de la humanidad, al que todo el mundo debe poder acceder para cubrir sus necesidades básicas. Es evidente que si el agua es gratis, el derroche está garantizado. Sin embargo, el precio debe tener en cuenta la capacidad de pagarlo.

**La institucionalidad y la gestión del agua.** Actualmente se ha popularizado la nueva hipótesis de que el mercado es la solución para el uso sostenible del agua. En el caso del noroeste de México, lo que ocurre en B.C.S. es que se está en un proceso avanzado de construcción de un inventario riguroso de las aguas estatales, lo que la ley y el sentido común imponen como un mínimo punto de partida para la puesta en marcha de una planificación seria. Ante la problemática de la cadena ‘recurso-usuario-administrador’, una solución clara parece que consistiría en abordar dicha gestión pública de forma que se incluya una reforma y modernización a fondo de la propia administración. Por todo ello, el gobierno apuesta por una mezcla de gestión pública y de iniciativa privada (organizaciones de usuarios) centrada en *flexibilizar* el actual régimen concesional del agua. Al parecer, se ha intentado satisfacer a distintos usuarios, lo cual puede calificarse como socialmente óptimo (van Leeden, 1991; Funtowics, 1997; Vertientes, CNA).

**Dos cuestiones son especialmente interesantes:** La primera es que los concesionarios de agua pueden convertirse en rentistas de agua con la excusa de la flexibilización y sin que exista ningún otro objetivo hidrológico pues el caudal concesional se les mantiene. La segunda consiste en que la obligación de que la cesión, que puede ser temporal, sea “a otro concesionario o titular del derecho”, parece que puede limitar o impedir que nuevos usuarios que necesitan agua puedan beneficiarse de esta medida a no ser que la propia administración sea la que ejerza el derecho de adquisición preferente de los caudales a ceder una vez que hayan sido rescatados. Dichos caudales luego podrían cederse a otros usuarios, algo que parece incomprensible desde la propia lógica de la flexibilización, si lo que se pretende es que haya más agua a disposición de otros usuarios potenciales. El nuevo marco institucional debe aceptar las cesiones de agua, aunque el término más adecuado sería el de transacciones de agua. Esta es posiblemente la política

hidrológica que se va a practicar de ahora en adelante. En los últimos años, la política hidrológica presenta dos características. Por un lado se han deteriorado los acuíferos, sin que la administración hidrológica haya podido hacer algo para evitar ese deterioro por temor a interferir en los negocios de agua o perjudicar a los usuarios de agua y, por otro lado, se insiste desde la administración en la bondad del sistema de libre competencia y de atomización de la oferta. La realidad, sin embargo, es que en Baja California Sur, los precios del agua no reflejan la escasez física sino, más bien, la escasez socialmente generada o el control del abastecimiento del agua por parte de los Sistemas Municipales (SAPAS), la propiedad del agua por parte de unos pocos propietarios así como el control, en pocas manos, de algunos de los canales de distribución (CNA, 2002; CNA, 2003).

**La productividad del agua.** La escasez de agua se ha venido considerando como un problema hidrológico, cuando en realidad es cada vez en mayor grado un problema económico, puesto que se trata de un recurso escaso, que al margen de otros usos, es demandado casi en un 90% para actividades económicas. Parece pues necesario acercarse a la escasez del agua también desde una perspectiva económica, puesto que, pese a sus características especiales, el agua es un recurso al cual podrían aplicársele criterios análogos a los que se usan para asignar otros recursos también escasos.

**La disponibilidad de agua y su relación con el desarrollo.** Al ritmo actual de inversiones, el acceso universal al agua potable no podrá anticiparse razonablemente hasta el año 2050 en África, el 2025 en Asia y el 2040 en América Latina y el Caribe. En general, para estas tres regiones, que comprenden el 82.5 por ciento de la población mundial, el acceso durante los años noventa aumentó de 72 a 78 por ciento de la población total, mientras que el saneamiento aumentó de 42 a 52 por ciento. En los países en desarrollo, entre el 90 y el 95 por ciento de las aguas residuales y el 70 por ciento de los desechos industriales se vierten sin ningún tratamiento en aguas potables que consecuentemente contaminan el suministro del agua utilizable.

Aproximadamente el 94 % de la población urbana tuvo acceso al agua potable al final del 2000, mientras que el índice para los habitantes en áreas rurales era solamente del 71 por ciento. Para el saneamiento, la diferencia era aún mayor ya que el 85 por ciento de la población urbana estaba cubierta, mientras que en las áreas rurales, solamente el 36 por ciento de la población tuvo saneamiento adecuado. La escasez de agua dulce es uno de los siete problemas ambientales fundamentales presentados en el Informe "Perspectivas del Medio Ambiente Mundial" del PNUMA. Es más, en una encuesta realizada a 200 científicos lo señalaban, junto al cambio climático, como el principal problema del nuevo siglo. De forma sencilla se puede decir que estamos alcanzando el límite de extraer agua dulce de la superficie terrestre, pero el consumo no deja de aumentar. Sin embargo, una gran amenaza la constituye el efecto que el cambio climático tendrá sobre el ciclo hidrológico y la disponibilidad de agua dulce. Básicamente se agravarán las condiciones de escasez de las zonas que ya son áridas (menos lluvias y mayor evaporación).

**Planeación del desarrollo y construcción de indicadores de sostenibilidad.** La planeación del desarrollo socioeconómico, en sus variados aspectos y más ahora cuando se ha incorporado la variable ambiental, requiere de modelación numérica. La estrategia fundamental es construir y establecer los índices o indicadores que resulten de utilidad para la elaboración de pronósticos y escenarios.

**La sostenibilidad ecológica.** Se define la *sostenibilidad ecológica* como la capacidad de un sistema (o un ecosistema) de mantener su estado en el tiempo, manteniendo para ello los parámetros de volumen, tasas de cambio y circulación invariables o haciéndoles fluctuar cíclicamente en torno a valores promedio (Gligo, 1987). Costanza define tres diferentes políticas para conseguir la sustentabilidad ecológica: una tasa sobre la destrucción de capital natural con el fin de reducir o eliminar la destrucción del mismo, la aplicación del principio contaminador-

pagador aplicado a productos contaminadores de tal forma que incentive a los productores a mejorar el entorno y, por último, un sistema de aranceles ecológicos que permita a los países aplicar las dos políticas anteriores sin forzar a sus productores a moverse a otros lugares con el fin de mantener la competitividad (Costanza, 1994). De esta forma, parece necesaria la participación de los ecólogos en los procesos de desarrollo para conocer las alteraciones de los ecosistemas como consecuencia de estos procesos. Según ellos, la estrategia a seguir en un proceso de desarrollo debería (Rees, 1993): (a) integrar aspectos ecológicos en las políticas de desarrollo económicas y sociales, (b) formular estrategias preventivas, c) demostrar los beneficios para el desarrollo de las políticas ecológicas que son correctas. Lo anterior debe aplicarse de manera similar al recurso agua.

## **Antecedentes**

**Disponibilidad hidrológica en México.** Los recursos hídricos se encuentran repartidos de una forma desigual en el territorio mexicano, lo que da lugar a variaciones significativas de las disponibilidades de agua según las diferentes regiones. El 50 % del escurrimiento superficial se genera en el sureste, en tan sólo el 20 % del territorio, mientras que el norte, que abarca el 30 % del territorio, genera sólo el 4 % de dicho escurrimiento.

En México existen 314 cuencas de aguas superficiales agrupadas en 37 regiones hidrológicas y 13 gerencias regionales administrativas de la CNA, que han sido actualizadas desde enero de 1999.

**La Problemática Global del Agua en México.** La creciente necesidad de lograr el equilibrio hidrológico que asegure el abasto suficiente de agua a la población se logrará armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso mediante el uso eficiente del agua. México, un país rico en recursos naturales, obtiene el agua que consume la población de fuentes tales como ríos, arroyos y acuíferos del subsuelo. Estos acuíferos se recargan de forma natural en época de lluvias. Sin embargo, la época de lluvias tiene una duración promedio de cuatro meses lo que propicia una escasa captación. Aunado a esto, del total de agua captada por lluvias, aproximadamente el 70% se evapora. La desproporción que existe entre la cantidad de agua que se capta por escurrimiento y las extensiones territoriales que comprenden aunado a la corta temporada de lluvias hace que la disponibilidad del agua sea cada vez menor. Bajo este panorama México enfrenta actualmente graves problemas de disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua. Parte de esta problemática, se enfrenta con la construcción de la Infraestructura Hidráulica que permite satisfacer de agua a los diferentes sectores de la población: el agrícola, el industrial, el doméstico y de servicios y para la generación de energía eléctrica, entre otros.

No obstante, existen diferencias territoriales importantes que son desfavorables. En el norte del territorio nacional, el agua de lluvia que se capta por escurrimiento es únicamente el 4% mientras que en el sureste y las zonas costeras se logra captar el 50% del escurrimiento. Así, entre otros beneficios de la infraestructura hidráulica se encuentra la protección a la población y las áreas productivas de situaciones como las inundaciones, además de aprovechar las zonas con alto promedio de escurrimientos para la generación de servicios como la energía eléctrica. La zona norte del país está constituida por regiones áridas y las presas tienen la función de captar el agua que se utilizará en la actividad agrícola. En la zona sur del país, donde se localizan las regiones húmedas, las presas tienen como función almacenar el agua para la generación de la energía eléctrica y el control de avenidas.

**El problema del agua en Baja California Sur, en el noroeste de México,** es un problema realmente serio, pues su desarrollo depende en gran medida de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos que son de tamaño reducido y que cuentan con recargas muy limitadas, dada las escasas lluvias de la entidad, como por el relieve del terreno que dificulta su adecuado

aprovechamiento. Además, todos sus acuíferos son costeros, y por lo tanto están expuestos a la intrusión de agua de mar ante explotaciones excesivas. Las lluvias en Baja California Sur caen como aguaceros de corta duración y de gran intensidad durante los meses de verano, época en la que también inciden los ciclones tropicales (Gerardo Aguilar, 1990). En las sierras, cuando ocurre la precipitación, el agua escurre rápidamente y una gran cantidad se infiltra en los arroyos cuando el material de rocosa a granular sedimentario. Después de la infiltración el agua fluye como agua subálvea y subterránea. En el sur del estado este mecanismo causa la mayoría de las recargas. Las recargas suficientes son solamente en años con mucha precipitación en temporadas de tormentas tropicales.

**Dinámica del agua en el Acuífero de La Paz 0324.** El 70 % del volumen de agua que se suministra a las localidades proviene del subsuelo. El agua subterránea se ha convertido en un elemento indispensable en el suministro a los diferentes usuarios, bien sea en las zonas áridas en donde constituye la fuente de abastecimiento más importante y a menudo la única, como es el caso de la ciudad de La Paz. La sobreexplotación de los acuíferos ha generado diversos efectos perjudiciales, entre los cuales se encuentra el grave impacto ecológico irreversible de las primeras décadas de la sobreexplotación. Asimismo, el deterioro de la calidad de agua de los acuíferos, principalmente por intrusión salina y migración de agua fósil de mala calidad, ha sido provocado por la sobreexplotación.

El acuífero del Valle de La Paz–El Carrizal 0324 se recarga por medio de 5 cuencas; entre las más importantes destacan las siguientes: la Cuenca de El Coyote, El Cajoncito, El Novillo, San Pedro y El Carrizal, con distintos volúmenes al año (San Pedro-El Carrizal con 20,800,000 m<sup>3</sup>, El Novillo con 5,600,000, El Cajoncito-Las Cruces con 8,184,076, y El Coyote con 6,800,000 m<sup>3</sup>, para un volumen total de recarga de 28,984,076 m<sup>3</sup>).

El incremento en la demanda de agua en la ciudad se ha vuelto cada vez más difícil de satisfacer y sigue generando más problemas de sobreexplotación. El desarrollo de las regiones afectadas por la sobreexplotación de los acuíferos es limitado y se agravará aun más al persistir las tendencias climáticas de los últimos años, caracterizada por condiciones extremas que incluyen sequías más severas, prolongadas y frecuentes y tienen un impacto negativo sobre la recarga de los acuíferos. La reserva almacenada en el subsuelo será la principal y en ocasiones única fuente de agua para los diversos usos, en donde los acuíferos se convierten en el recurso patrimonial estratégico que debe ser manejado y administrado en forma eficiente para asegurar el desarrollo de la localidad.

**Características del abastecimiento de agua por bombeo.** El Programa Hidráulico Regional 2002–2006 indica los volúmenes de extracción total de 29,450 miles de m<sup>3</sup> de agua del acuífero de La Paz, siendo el uso para la zona urbana y comercial de la Cd. de La Paz al que se destina el mayor volumen de extracción con 21,450,000 m<sup>3</sup>, en tanto que para la zona agrícola de La Paz se destina un volumen de extracción de 8,000,000 de m<sup>3</sup>. Prácticamente en su totalidad, los productores pagan la electricidad requerida para el bombeo del agua, es decir, no se paga por el líquido en sí mismo, pero sí se tiene que soportar el costo del bombeo. La Comisión Nacional del Agua realizó un estudio en el 2002, en donde analizó los periodos de 1969 a 1972 y 1979 a 1982. Resulta útil considerar el volumen extraído por medio del cálculo de las capacidades instaladas y su tiempo de operación, obteniéndose un volumen de 40 a 45 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> /año.

**Disponibilidad de Agua con Fines Agropecuarios en La Paz, B.C.S., México.** Baja California Sur es un Estado del noroeste mexicano en el que la disponibilidad de agua es baja, la cual se extrae de pozos, sin embargo, en los últimos años muchos pozos se han secado y en otros se han detectado ya intrusión salina con la pérdida de calidad de ella para la agricultura. La zona de La Paz no es la excepción, la escasez y el incremento de la demanda de agua han provocado problemas de sobreexplotación de los pozos existentes y en otros el abatimiento de los mantos

freáticos. En este escenario las actividades agropecuarias pasan a un segundo término en la consideración de abasto de agua.

La Paz se encuentra al sureste de la Península de Baja California, en la cuenca La Paz-Cabo San Lucas, con una extensión de 4,500 km<sup>2</sup>. La Figura 13 muestra la ubicación de la región.



Fig. 1. Localización de La Paz, B.C.S., México.

La zona presenta características de zona árida con la vegetación característica del desierto, matorral sarcocaulé y espinoso. El clima es muy seco, cálido, con una precipitación promedio anual de 190 mm. La temperatura promedio anual es de 22°C, con valores máximos arriba de 35°C en verano y mínimas de 14°C en invierno. La zona de La Paz, abarca al norte hasta el ejido Chametla y El Centenario, mientras que al sur abarca hasta el poblado de San Pedro y el Valle de Los Planes, El Sargento, San Juan de los Planes y Juan Domínguez Cota, B.C.S. Ante la falta de agua superficial, se ha tenido la necesidad de perforar pozos para extraer agua del acuífero y como en la mayoría de los acuíferos del estado, el de La Paz se encuentra sobreexplotado y además con intrusión salina. El agua dulce que alimenta al acuífero, provienen de la precipitación que escurre superficialmente en las serranías alrededor de La Paz, cuando se presentan las lluvias que son de carácter torrencial. La recarga del acuífero es de aproximadamente 27.8 millones de m<sup>3</sup> al año, mientras que en la zona se encuentran 23 pozos profundos y se estima que bombean alrededor de 30 millones de m<sup>3</sup> al año, lo cual muestra el déficit de agua que se está agravando al paso de los años (CNA 2003).

La intrusión salina que sufre el acuífero de La Paz inició a principio de 1980 y se ha ido incrementando hasta llegar a ser en 2003 de 2.2 millones de m<sup>3</sup> al año (CNA 2003). Esta intrusión salina alcanza una distancia de 8km de la costa hacia la montaña. Se calcula que del agua disponible en el Municipio de La Paz, el 74.8% se destina a las actividades agropecuarias, aunque en la cuenca La Paz-Carrizal el porcentaje predominante se destina a usos urbano-domésticos y público-urbanos. Asimismo en el año 2000, la CNA realizó estudios sobre el abatimiento del nivel estático de los pozos de agua de La Paz y se considera que en promedio fue del orden de

2.05m en el periodo de 1999 a 2000. Hace esto suponer que en los futuros años, la disponibilidad de agua irá disminuyendo notablemente.

## Métodos

La modelación numérica racional constituye un método que ha estado siendo adoptado por científicos y tecnólogos, de manera que es una herramienta para la descripción de fenómenos y procesos, que sean preferentemente de naturaleza paramétrica y cuantificable. Otra opción es la modelación empírica, mediante la cual se puede estudiar y analizar la asociación de variables y parámetros que guardan cierta relación funcional de causa y efecto, aun cuando no parezca que exista una correspondencia verdadera en el ámbito de la realidad objetiva. La planeación del desarrollo socioeconómico, en sus variados aspectos y más ahora en las últimas décadas en las que se ha incorporado la variable ambiental, requiere de modelación numérica. La finalidad es poder construir y establecer los índices o indicadores necesarios, que resulten de utilidad para la elaboración de pronósticos y construcción de escenarios.

### 1. Idealización y construcción de indicadores de sostenibilidad

Los indicadores son un instrumento cuantitativo que se idealizan para medir un fenómeno o estado cualitativo en relación con determinada problemática, principalmente de naturaleza socioeconómica, por lo que pueden ser de origen variable según los fines que se persiguen. Para los indicadores que se construyen y se utilizan por primera vez, o bien en otros casos, los datos en que se apoyan se refieren a estudios e investigaciones realizadas generalmente de forma aislada. No existe garantía sólida de que los valores resultantes puedan seguir siendo utilizados en estudios o informes posteriores. Sin embargo, su éxito posterior depende de la validación y calibración que se realice al respecto de su funcionalidad y aplicación utilitaria. Los indicadores ambientales que tienen algún registro histórico, se caracterizan por una gran variabilidad del mismo, por lo que no son del todo confiables.

### 2. Aproximación Numérico-Conceptual

Para el análisis y estudio de la sustentabilidad, se consideró pertinente aplicar la metodología del 'modelo de propiedades', para este efecto la incógnita es una propiedad o un sistema de propiedades referidas a unos individuos previamente conocidos. También en este caso es necesario partir de una superpropiedad o marco predicativo global donde se ubique la propiedad específica que estamos buscando: se trata de definir el dominio de la pregunta para la incógnita del enunciado, al igual que en el modelo anterior. A este modelo pertenece una gran parte de los problemas de investigación que se plantean en Educación y en las Ciencias Sociales en general. Al construir un modelo para una finalidad específica, sea de naturaleza empírica o quasi-racional, hay que preguntarse si refleja razonablemente la realidad. Si el modelo es capaz de generar los comportamientos característicos del sistema real, entonces se tiene cierta confianza en la validez del modelo. La peculiaridad de estos modelos reside en la posibilidad de simular su evolución temporal con la ayuda de las computadoras y en la de generalizarla para cualquier tipo de sistemas similares. En este trabajo se define el Indicador **ISHS** como el **Índice de Sustentabilidad Hidrosocial**, que es función y guarda una relación lineal con dos indicadores, el **IDHA**, que es el Índice de Disponibilidad HidroAmbiental, y el **ISIH**, llamado Índice de Suficiencia en Infraestructura Hidráulica.

De acuerdo con las definiciones anteriormente expuestas, el ISHS es función de dos indicadores (métodos: Bailey, 1979; Box, 1978; Ferreira y Smith, 1988; Steel y Torrie, 1960), de tal forma que es posible proponer la siguiente relación numérico funcional:

$$\text{ISHS} = f(\text{IDHA}, \text{ISIH})$$



La expresión propuesta que relaciona de manera funcional ambos indicadores con el índice integrador de sustentabilidad ISHS se basa en relaciones lineales.

### 3. Modelación Empírica y Calibración

De acuerdo con las iteraciones y calibraciones numéricas realizadas, se encontró que el IDHA influye en un 32 %, en tanto que ISIH influye en 67 % sobre el índice ISHS. La ecuación funcional es la siguiente:

$$\text{ISHS} = 0.067 + 0.323(\text{IDHA}) + 0.67(\text{ISIH})$$

Según la valoración de los resultados de aplicación y simulación, el valor mínimo para **ISHS** es 0.107, cuando IDHA = 0.04 e ISIH = 0.04; por su parte, el máximo valor para **ISHS** es 9.997 cuando IDHA = 10 e ISIH = 10.

### Resultados y Discusión

De acuerdo con los datos y valores obtenidos, resulta evidente que para una aplicación expedita de la función numérica propuesta, el cálculo del nuevo indicador ISHS depende de las estimaciones previas de IDHA e ISIH, los cuales se determinan según la metodología que se propone a continuación. Para el caso de IDHA, se propone una adaptación funcional del Índice de Aridez de Martonne, que considera la precipitación y temperatura como variables de entrada. Por su parte, ISIH es estimado mediante una valoración cuantitativa, de acuerdo con el grado de cobertura hidráulica y el tiempo de cobertura eficiente, sin cortes o fallas.

El IDHA Índice de Disponibilidad Hidroambiental es un indicador cuya expresión matemática es función de la lluvia y temperatura; de acuerdo con la calibración del modelo, el máximo valor del IDHA es de 10, para condiciones de lluvia de 75 mm/mes, con una temperatura de 17.5°C. A su vez, el mínimo valor del IDHA es de 0.1, para condiciones de precipitación de 1 mm, con una temperatura media ambiental promedio de 35°C. Las condiciones extremas simuladas representan casos extraordinarios atípicos, con muy poca probabilidad de ocurrencia. El modelo resulta ser suficientemente robusto cuando cambian las condiciones de lluvia (Fig. 2).

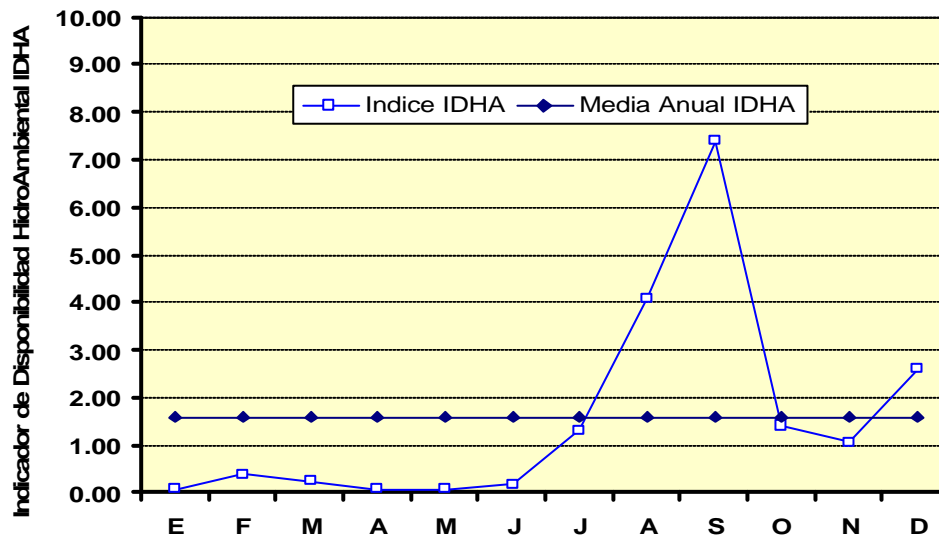


Fig. 2. Tendencia numérica del Indicador Índice de Disponibilidad Hidroambiental, aplicado en estudio de caso en La Paz, B.C.S., México.

Para el complemento de la determinación del ISHS, fue necesario estimar los valores del indicador ISIH, que estima numéricamente en base a una valoración previa, la “suficiencia en infraestructura hidráulica”, entendida esta como la capacidad instalada con que se cuenta para satisfacer la demanda, suponiendo la existencia de disponibilidad “natural” de agua. Es decir, este índice va a depender del estado que guarde la tecnología hidráulica (conducción, eficiencia, etc.), y evidentemente del mantenimiento que se le brinde (o deje de brindar). Los valores de ISIH van a oscilar de 1 a 10, dependiendo de cada caso. Los valores propuestos son los siguientes.

<b>% de Casas Habitación o Unidades demandantes cubiertas : Fc</b>	<b>% de Quincenas del año con Servicio Eficiente (sin fallas) : Fe</b>	<b>Valor del ISIH</b>
100	100	10
	80	9
	60	8
	40	7
80	100	8
	80	7
	60	6
	40	5

Fc : Factor de cobertura, en %.      Fe : Factor de eficiencia, en %.

El criterio se aplica de manera similar a las sucesiones inferiores, de tal forma que el ISIH para un Fc de 50%, con un Fe de 40 es definido como ISIH = 2.

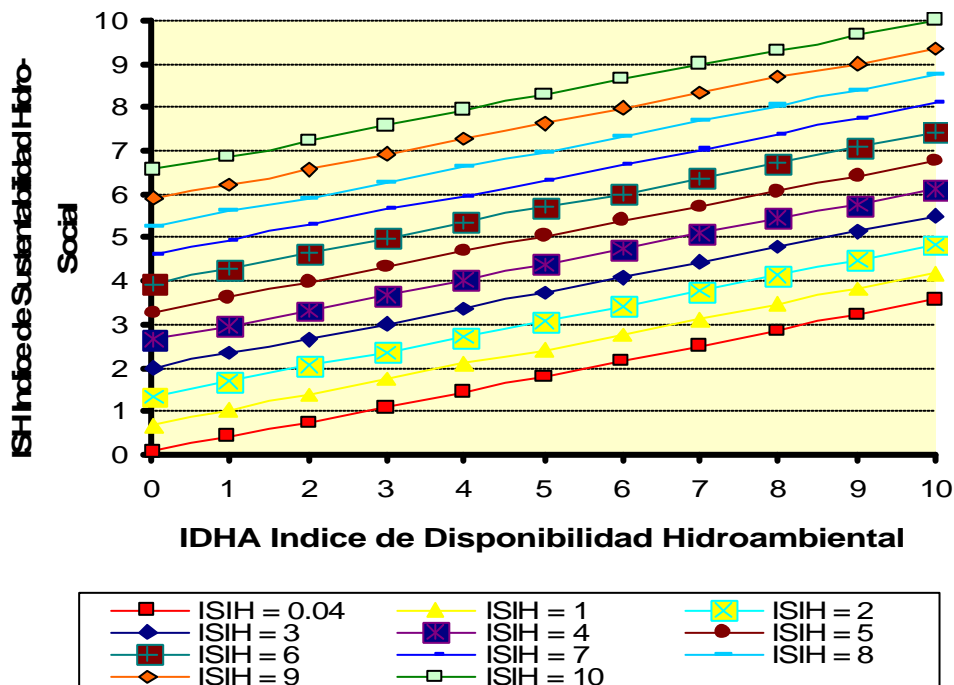


Fig. 3. Familia de curvas del Índice ISHS, según la variación del IDHA para diferentes valores constantes de ISIH.

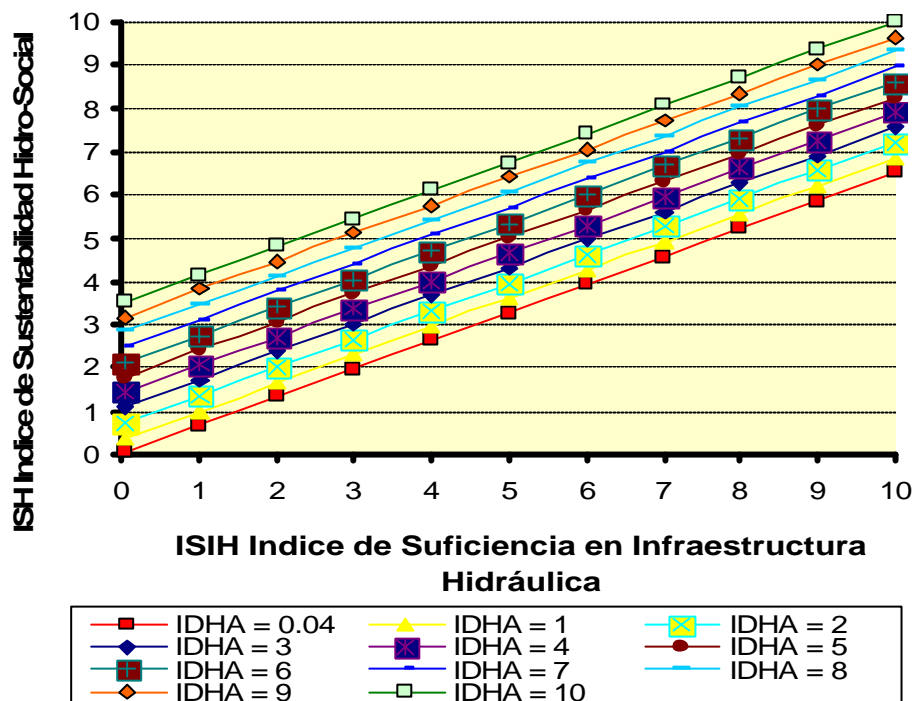


Fig. 4. Familia de curvas del Índice ISHS, según la variación del ISIH para diferentes valores constantes de IDHA.

## Conclusiones

La resolución que muestra el Indicador propuesto ISHS muestra suficiente robustez y elasticidad para poder aplicarse al estudio de los diferentes casos que ameriten nuevas herramientas numéricas. La relación que mostró el Índice ISHS con dos indicadores fue aceptable en términos de su funcionalidad estadística. El Índice utilizado como IDHA, Indicador de Disponibilidad Hidroambiental, fue construido a partir de una adaptación, a manera de complemento numérico, del Índice de Aridez de Martonne. Se hace una aplicación de valores del Índice de Suficiencia en la Infraestructura Hidráulica a manera del estilo de los “Estudios de Impacto Ambiental”.

La gestión del recurso agua en México se realiza con un enfoque fundamentalmente sectorial. Las instituciones del sector están sumamente fragmentadas; los criterios de integralidad están ausentes. La cuenca como unidad hidrológica para el manejo del recurso agua no está formalmente incluida dentro de las políticas nacionales para la gestión de recursos hídricos, por lo que se hace necesaria la construcción y validación de nuevos indicadores de sostenibilidad hidrosocial.

## Lista de figuras

Figura 1. Localización de La Paz, B.C.S., México.

Figura 2. Tendencia numérica del Indicador Índice de Disponibilidad Hidroambiental, aplicado en estudio de caso en La Paz, B.C.S., México.

Figura 3. Familia de curvas del Índice ISHS, según la variación del IDHA para diferentes valores constantes de ISIH.

Figura 4. Familia de curvas del Índice ISHS, según la variación del ISIH para diferentes valores constantes de IDHA.

## REFERENCIAS

- Bailey, H.P. 1979. Semi-arid climates: Their definition and distribution. In: Hall, A.E., G.H. Cannell and H.W. Lawton (Eds.). Agriculture in semi-arid environments. Springer-Verlag. New York, USA. 340.
- Box, G.E.P., W.G. Hunter, and J.S. Hunter. 1978. Statistics for experimenters. John Wiley & Sons. New York, USA. 653 pp.
- Browning, G.M. 1979. Development for and of the Universal Soil Loss Equation. In: Kral, D.M. (Managing Editor). Universal Soil Loss Equation: Past, Present and Future. Soil Science Society of America Special Publication Number 8. 53 pp.
- CNA. 2004. Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. México, D.F.
- CNA. 2003. Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Península de Baja California, Región I. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua. México.
- Costanza, R. 1994. Three general policies to achieve sustainability. En Jansson, M. et.al. (eds.). Investing in natural capital: the ecological economics approach to sustainability, Island Press, Washington, D.C.
- Ferreira, V.A. and R.E. Smith. 1988. The limited physical basis of physically based hydrologic models. In: Campbell, K.L. Symposium Chairman. Modeling Agricultural, Forest, and Rangeland Hydrology, Proceedings of the 1988 International Sympos. pp 10-18. ASAE Publ 07-88. St. Joseph, Mi USA. 510 pp.
- Funtowicz S. et al. Challenges in the Utilisation of Science for Sustainable Development, UK Presidency of the European Union, Panel Discussion on Science and Sustainable Development. Commission for Sustainable Development (CSD6). United Nations, New York, April.
- Gerardo Aguilar, M R. 1990, regionalización Hidrológica de La Cuenca El Cajoncito, Baja California Sur, Tesis profesional, Universidad Autónoma de Baja Calif. Sur.
- Gligo, N. 1987. Política, sustentabilidad ambiental y evaluación patrimonial, Pensamiento Iberoamericano, núm. 12, pp. 23-39.
- Rees, C. 1993. El ecólogo y el desarrollo sostenible. Finanzas y desarrollo 30(4): 14-15, diciembre.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1960. Principles and Procedures of Statistics. McGraw-Hill Co., Inc. New York, USA. 481 pp.