

## **VALORACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LOS ABASTECIMIENTOS URBANOS**

**Bernardo LÓPEZ-CAMACHO Y CAMACHO\***

(\*) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Canal de Isabel II.

### **RESUMEN**

Una de las acepciones de valorización, según el DRAE, es la de “aumentar el valor de una cosa”. Generalmente las aguas subterráneas han sido consideradas como bien gratuito, a cuyo aprovechamiento sólo se le imputaban los costes de la energía, de la amortización de las instalaciones y, eventualmente, el de su distribución y tratamiento. Ello ha conducido a una minusvaloración del recurso, llevando a situaciones de sobreexplotación, salinización, contaminación y abandono de los acuíferos. Las nuevas tendencias de la economía de los recursos naturales introducen el concepto del valor económico total, como suma del valor de extracción (usos tradicionales) más el valor “in situ” (valores ecológicos, amortiguador de sequías, evitación de subsidencias e intrusión salina, uso recreativo o cultural de sus flujos de salida, etc), incluso añadiendo los valores de “existencia y legado a futuras generaciones”.

En el presente trabajo se exponen una serie de datos y reflexiones sobre el uso de las aguas subterráneas en los abastecimientos de nuestro país, otros de Europa y en EE.UU., su papel futuro, los costes asociados y comparativos, así como las perspectivas que abre la consideración de la totalidad de las funciones que pueden desarrollar los recursos subterráneos. Se aboga por una utilización eficiente y sostenible que, en algunos casos, puede suponer menores extracciones que las actuales.

### **INTRODUCCIÓN**

Se da la paradoja de que el agua subterránea se considera, de forma general, un bien gratuito (*free* en la literatura anglosajona), pero también, en algunas ocasiones, como un bien de inestimable valor. Así, recientemente, en casos de contaminación del subsuelo por productos petrolíferos que afectan a algún acuífero, el ministerio

fiscal ha solicitado elevadas fianzas a los presuntos responsables que, en relación con los metros cúbicos afectados, podrían representar asignar valores económicos de 500-1.000 pta por cada  $m^3$  de agua subterránea afectada por la contaminación. En EE.UU. el programa de restauración de aguas subterráneas contaminadas, asigna un elevadísimo valor al  $m^3$ , al dedicar cuantiosas sumas con objeto de recuperar la calidad hasta los estándares del agua potable, sin comparar los costes de las complejas tecnologías de la operación con los futuros beneficios que se obtendrían, ulteriormente, con la real o hipotética utilización de dicho recurso. Esto conduce, llevando al extremo la reflexión, a que en los casos de limpieza técnicamente inviable de acuíferos contaminados, se asignaría un valor infinito al recurso.

En el otro extremo, el agua subterránea ha sido estimada por debajo de su valor real y, en consecuencia, subestimada y desaprovechada. En nuestro país, la principal razón quizá radique en que las soluciones alternativas a base de traídas de aguas superficiales, han contado con abundante y generosa financiación pública, cuya repercusión sobre el beneficiario ha sido -salvo contadas excepciones- poco más que simbólica. Ello ha dado lugar a un desinterés por el uso y protección de los acuíferos, que se han utilizado fundamentalmente para el regadío por la iniciativa privada, conduciendo en bastantes casos a explotaciones desordenadas, que llevan a situaciones de sobreexplotaciones, salinización y contaminación por fertilizantes y pesticidas. En EE.UU. se señala que el usuario (público o privado) sólo percibe el coste de la energía y de la amortización de las instalaciones (y eventualmente el del tratamiento del agua y su distribución), pero no el valor a largo plazo -externalidades-, lo que conduce a la depresión continuada de niveles, la contaminación y la afección a ecosistemas soportados por las aguas subterráneas.

Esta falta de racionalidad en la valoración de los recursos hídricos, no se circunscribe exclusivamente al agua subterránea. La utilización de las aguas superficiales ha mostrado análoga paradoja. Por un lado, de las grandes inversiones en planes estatales de regadío, sólo se repercuten cantidades muy modestas sobre los beneficiarios: del orden de 1 pta/ $m^3$  en la mayor parte de nuestras zonas regables. Por otro, cuando se trata de justificar volúmenes de trasvase en períodos de sequía, se asignan al  $m^3$  valores del orden de 500 pta/ $m^3$ , cantidad resultante de dividir los daños que se ocasionarían con el "no trasvase" por los  $m^3$  que se proponen trasvasar, con los que se eliminarían tales daños. En otros casos, frente al cuestionamiento de ciertas infraestructuras de almacenamiento, se presentan argumentos de asignar al  $m^3$  almacenado valores superiores en un par de órdenes de magnitud al valor del recurso en un hipotético mercado (de hecho, en las regiones con escasez, tales mercados, de forma más o menos encubierta, no han dejado de existir).

Tampoco existen, en nuestro país, valoraciones de las funciones de "no uso" del recurso. Volviendo a las aguas subterráneas, con motivo de la última sequía se produjeron, en el casco antiguo de Murcia, asentamientos del terreno originados -o agravados- por la extracción de aguas subterráneas, que dieron lugar a daños en los edificios y descenso del valor en el mercado de sus viviendas. Si se divide la

valoración de las inversiones para reparar tales daños (más la pérdida de valor de las propiedades) entre los m<sup>3</sup> extraídos, las cifras pueden resultar muy elevadas. En esas condiciones, parece claro que un conocimiento previo del valor de “no uso” (daños evitables) de las aguas subterráneas, hubiese inclinado claramente la acción a evitar su explotación.

El presente trabajo tiene por objetivo avanzar algunas ideas hacia la valorización o valoración del agua subterránea, reflexionando sobre las oportunidades y riesgos que su explotación comporta.

## USOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

### Situación en España

El Libro Blanco de las aguas subterráneas (MOPTMA y MINER, 1994) presenta cifras de utilización de las aguas subterráneas, en abastecimientos urbanos, referidas a 1990 y desagregadas por cuencas hidrográficas. Concluye que con aguas procedentes del subsuelo (pozos, galerías, manantiales) se abastecen 12 millones de almas (31% de la población total) a las que se suministra un volumen de 1.080 hm<sup>3</sup>/año. En dicha cantidad se incluyen las industrias conectadas a las redes urbanas. Si se tiene en cuenta que la Memoria del Anteproyecto del Plan Hidrológico Nacional evalúa los volúmenes totales derivados, hacia 1992, para usos urbanos, en 4.300 hm<sup>3</sup>/año, las aguas subterráneas vendrían a representar un 24% del total suministrado. En este caso, las dotaciones unitarias resultan inferiores a las correspondientes a los abastecimientos con aguas superficiales (250 frente a 325 litros

AÑOS	ORIGEN DEL AGUA		TOTAL
	SUPERFICIAL	SUBTERRÁNEA	
1985	3330	1410	4740
1986	3380	1234	4614
1987	3054	1247	4301
1988	3019	1180	4199
1989	2920	1265	4185
1990	3305	1174	4479

*Tabla 1. Captación de agua en abastecimientos (hm<sup>3</sup>).*

por habitante y día).

En la *tabla 1* se recogen datos de captación de agua del período 1985-1990,

según su origen, procedentes de la Encuesta Industrial (EI), elaborada por el Instituto Nacional de Estadística (INE). El ámbito de esta encuesta, en lo referente al sector del agua, comprende los establecimientos productivos cuya actividad, exclusiva o principal, está incluida entre las que contempla la agrupación 16 de la Clasificación Nacional de Actividades económicas (CNNAE 76), figurando en el código 41 en la CNAE-93.

PROCEDENCIA DEL AGUA	PORCENTAJE
Agua superficial	75,7%
Agua subterránea	22,3%
Otros	2,0%

*Tabla 2. Procedencia del agua para núcleos de más de 20.000 habitantes.*

Los porcentajes de volúmenes captados de aguas subterráneas de la EI oscilan, según los años, entre 27 y 30% del total, cifras ligeramente superiores al Libro Blanco y a la Memoria del Plan Hidrológico Nacional.

Por su parte, la Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento (AEAS) viene realizando, periódicamente, encuestas directas a los abastecimientos de población (1987, 1990, 1992 y 1994). La encuesta directa realizada en 1994 comprendía 22,2 millones de habitantes (56,3% del total de los 39,4 millones de habitantes del censo del Instituto Nacional de Estadística de 1991). Para los municipios mayores de 20.000, la procedencia del agua era la expresada en la *tabla 2*.

Sin embargo, la muestra encuestada para los municipios menores de 20.000 habitantes (13,76 millones de habitantes) no podía considerarse representativa, por lo que se hace necesario recurrir a otras fuentes.

Esta posibilidad la ofrece el trabajo de Sanz Pérez (1995), que presenta datos de la Encuesta de Infraestructura y Equipamiento Municipales, realizada por el Ministerio de Administraciones Públicas, en 1986, que abarca datos directos del 95% de la población que vivía, en aquella fecha, en núcleos inferiores a 20.000 habitantes. Los resultados de la encuesta arrojaban que el 70% del agua suministrada a los 12,11 millones de población de hecho encuestada, procedía de pozos, sondeos o manantiales.

Examinadas detenidamente las distintas estadísticas existentes en nuestro país, se observan numerosas discrepancias e inconsistencias, sobre todo cuando se analizan series cronológicas y dotaciones unitarias en los diferentes estratos de población, así como en las consideraciones de agua derivada, agua suministrada, agua registrada, etc. Podemos tomar un atajo, aceptando que el 65% de la población de núcleos de más de 20.000 habitantes se les suministra el 22,3% de aguas

subterráneas, y a la de municipios menores el 70%. En ese supuesto el porcentaje total de suministro de aguas subterráneas, en los abastecimientos españoles, vendría a ser del 39%, cifra muy superior a la expuesta hasta la fecha en documentos oficiales.

Como síntesis de diversas estadísticas, López-Camacho (1997) expone que la captación de agua para abastecimiento, en el período 1985-1994, ha oscilado entre 4.200 y 4.750 hm<sup>3</sup>/año, en función de situaciones climáticas y otros factores socioeconómicos. En esos supuestos, el volumen captado de los acuíferos (pozos y manantiales) vendría a estar entre 1.600 y 1.800 hm<sup>3</sup>/año, cifra también muy superior a la estimada hasta la fecha, que oscilaba sobre los 1.100 hm<sup>3</sup>/año.

Es posible que, en los últimos años, la participación de las aguas subterráneas en el abastecimiento de las poblaciones haya sufrido algún decremento debido, sobre todo, a la extensión de las redes procedentes de las instalaciones de aguas superficiales. Pero, con todo, es posible que el porcentaje de participación no baje del 30-35%, aún teniendo en cuenta la menor dotación unitaria de los municipios pequeños. Todo lo cual conduce a recomendar una profundización en el tema del uso del agua subterránea de nuestro país, afinando las estadísticas y estimaciones existentes. Recomendación que no tiene por objeto una mera inquietud intelectual, sino extraer las conclusiones necesarias para las políticas de protección de los acuíferos y su uso estratégico en períodos de sequía o escaseces.

AÑO	B	A	D	SZ	F	GB	I	HL	L	AU	S	CH	E	H
1970	75	66	-	31	-	30	-	61	-	99	29	72	-	-
1975	71	72	98	38	-	29	88	64	70	99	26	81	22	-
1980	67	72	99	39	-	28	88	66	65	99	25	83	-	28
1985	67	73	99	49	65	28	-	70	73	99	22	83	26	28

Fuente: IWSA, 1998

B, Bélgica; A, Alemania; D, Dinamarca; SZ, Suiza; F, Finlandia; GB, Gran Bretaña; I, Italia; HL, Holanda; L, Luxemburgo; AU, Austria; S, Suecia; CH, Checoslovaquia; E, España; H, Hungría.

*Tabla 3. Porcentaje de aguas subterráneas en abastecimientos de diferentes países.*

### Situación en los países europeos

Al igual que no es frecuente encontrar trabajos que exploten los datos de la

Encuesta Industrial de nuestro país, tampoco es frecuente ver reflejados los datos de estadísticas internacionales de organismos como la International Water Supply Association (IWSA).

En la *tabla 3* se recogen las cifras procedentes de Achttienribbe (1987). Como puede verse, España es uno de los países europeos que menos recursos capta del subsuelo para abastecimiento urbano, aunque como queda dicho anteriormente, habría que profundizar en dichas cifras, que pueden contener errores importantes por defecto.

Es inevitable plantearse las razones del menor desarrollo del aprovechamiento de las aguas subterráneas con destino al uso humano en nuestro país. Nos limitaremos a apuntar unas consideraciones, pues el tema requiere un análisis más extenso. Desafortunadamente, una buena parte de nuestros acuíferos presentan condiciones hidrogeológicas poco brillantes para el suministro sostenido de aguas de calidad; por la aridez de gran parte del territorio, las infiltraciones son relativamente reducidas, lo que unido a la existencia de sustratos constituídos por rocas con elevada capacidad de disolución, puede dar lugar a aguas con alto grado de mineralización. Los compromisos que soportan otros acuíferos, que suministran a regadíos o zonas turísticas, llevan consigo situaciones de sobreexplotación o de progresiva salinización de acuíferos costeros. En otros casos, por la profundidad de los niveles fráticos o la baja permeabilidad de las formaciones geológicas, se requiere el empleo de tecnologías cuidadosas para la obtención de caudales o rendimientos de interés. Por otra parte, se constata un relativo bajo nivel técnico de las instalaciones de captación de aguas subterráneas (con honrosas excepciones), sobre todo en comparación con el mayor nivel tecnológico de los aprovechamientos de aguas superficiales. Otro aspecto desfavorable lo constituye, de cara a los abastecimientos de cierta entidad, la necesidad de disponer de un alto número de pozos, dispersos geográficamente, frente a las instalaciones puntuales de mayor escala en la captación de los ríos. También existen razones basadas en la percepción de los habitantes y gestores acerca de la calidad de las aguas procedentes de pozos. Es frecuente la aparición de noticias en prensa, con manifestaciones de responsables municipales o usuarios, que se lamentan de que “aún tienen que beber agua de pozos”, clamando por la rápida llegada de las redes de empresas regionales que transportan aguas superficiales tratadas en planta. Se hace preciso mejorar la información y, sobre todo, la protección de los acuíferos, así como el tratamiento y mejora de la calidad de las aguas subterráneas cuando sea necesario (de forma análoga al tratamiento general de las aguas de superficie); dichos tratamientos se llevan a cabo, en los países europeos, en una elevada proporción de los volúmenes extraídos del subsuelo con destino al abastecimiento.

### **Situación en EE.UU.**

Completamos el panorama del uso del agua subterránea recogiendo algunos datos de EE.UU. referidos a 1990 (Solley *et al.*, 1993). Las aguas subterráneas

venían a representar el 43% de los usos en el conjunto de los sectores de abastecimientos públicos y usos domésticos y comerciales. En el conjunto de usos consuntivos (es decir, prescindiendo de usos termoeléctricos, que vienen a representar cerca del 50% del total, a base de aguas superficiales) las aguas subterráneas vienen a suponer un 37,5% del total (43% en abastecimientos como se indicó anteriormente, 38% en agricultura y 26% en industria).

Moody (1990) afirma que las aguas subterráneas constituyen la fuente predominante de recursos para la agricultura y los abastecimientos en las áreas rurales. En 1985 abastecían a más de la mitad de la población de EE.UU. y al 97% de la población rural. Dos terceras partes de los recursos extraídos del subsuelo se dedicaban a la irrigación.

Es de reseñar, destacadamente, la evolución sufrida en las últimas décadas en los EE.UU. sobre el uso del agua en general y las aguas subterráneas en particular. En el período 1950-1980 (30 años) el uso de los recursos, tanto superficiales como subterráneos, se multiplicó por 2,5, mientras la población se multiplicaba por 1,5. Sin embargo, dicha tendencia se invierte y comienza a acentuarse desde 1980. Así, en la década 1980-1990, el uso total del agua experimenta una disminución del 7% (cerca del 10% la superficial y del 4% la subterránea) mientras que la población creció un 4%. Sería largo, y no es lugar en este trabajo, entrar a indicar las razones del cambio de tendencia, remitiendo al lector a las referencias expresadas en este apartado. No obstante pensamos que sería de gran interés extraer las conclusiones pertinentes.

## **PAPEL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LOS ABASTECIMIENTOS**

En el Libro Blanco de las aguas subterráneas (MOPTMA Y MINER, 1994) se recoge que con aguas subterráneas se abastecen 10.235 núcleos de población, pertenecientes a 5.548 municipios. Como queda expuesto anteriormente, el segmento que mayor uso hace de las aguas subterráneas es el de los municipios con población inferior a 20.000 habitantes, si bien existen núcleos mayores, y sistemas de abastecimiento de tipo mancomunado, que también se basan total o parcialmente en el uso de las aguas subterráneas.

La mayor parte de los acuíferos existentes en nuestro país son capaces, en primera aproximación, de proporcionar los caudales para el abastecimiento de base de dichos núcleos. En general, los problemas que se detectan son los de mantener y reponer captaciones y equipos. Las principales amenazas que pueden tener los abastecimientos de base, radican en problemas de sobreexplotación o salinización de acuíferos, o en la mala calidad natural o deterioro por contaminación de las aguas que soportan los suministros, lo que requiere las necesarias medidas preventivas y correctoras en cada caso.

Ha sido relativamente frecuente, en las últimas décadas, proceder a la sustitución de los abastecimientos de aguas subterráneas por otras fuentes de aguas superficiales. Las razones principales radican en la mala calidad de las aguas subterráneas o el aumento de garantía que conlleva la conexión del municipio a las redes de sistemas generales, lo que, además, permite una gestión integral del recurso (aducción, distribución, alcantarillado y depuración). Esta tendencia se viene manifestando con claridad en los últimos años, y no es aventurado pronosticar que seguirá incrementándose en los venideros.

Entre las razones del menor desarrollo de las aguas subterráneas para el abastecimiento de poblaciones, se encuentra, sin duda, el bajo nivel técnico de ejecución, explotación y mantenimiento de las captaciones de aguas subterráneas. Ante cualquier episodio de sequía, o simple escasez, es frecuente recurrir al expediente de que se ha producido un deterioro en el acuí-fero y que hay que recurrir a una “solución definitiva”. En muchos casos, hemos tenido la oportunidad de comprobar que las contingencias del abastecimiento se debían a mal diseño de la captación, obsolescencia, deterioro del grupo electromecánico o simple falta de mantenimiento. Por otra parte, “las soluciones definitivas”, normalmente situadas a grandes distancias, suelen demostrar rápidamente que no son tan definitivas, exigiendo el complemento de las captaciones antiguas. Desafortunadamente, si el lapso de tiempo entre ambas situaciones es de varios años, normalmente las captaciones clásicas han sido demolidas o derruidas, por lo que es necesario empezar de nuevo con otra “solución más definitiva”.

Parece, pues, recomendable llevar cabo una revisión de las captaciones “clásicas” existentes, conservando aquéllas que para sequías u otras contingencias resulten de interés. Ello requeriría, frecuentemente, su remodelación total o en gran parte, pues muchas de estas instalaciones se encuentran fuera de las normativas ahora vigentes (especialmente las referentes al equipamiento eléctrico).

Más interés presenta el abastecimiento a los núcleos de mayor población, sobre todo en períodos de sequía. A nuestro juicio, uno de los aspectos fundamentales para que las aguas subterráneas jueguen un papel más relevante en los abastecimientos, es el cuidado y la tecnificación de las captaciones en sus distintas fases: construcción, equipamiento, explotación y control.

La mejor construcción y desarrollo o estimulación de las captaciones, no sólo debe tener el objeto de conseguir mayor rendimiento (caudal y nivel); además debe perseguir mayor durabilidad, previendo las situaciones extremas de sollicitación que puedan presentarse; deben utilizarse materiales que no presenten problemas futuros de degradación, o en relación con la calidad del agua.

Asimismo resulta ya prácticamente obligada la captación automática de datos de los pozos, no sólo hidrodinámicos (caudal y nivel), sino también de explotación (temperatura del motor, tensión, intensidad de las fases, consumo energético, horas



de funcionamiento, etc) y su transmisión a un centro de agrupación. En el caso de campos de cierta importancia, se comienza a imponer el telecontrol y telemando de las unidades, y el control automático de parámetros de calidad. En una etapa ulterior, dichos datos podrán transmitirse a las oficinas centrales de gestión de las aguas subterráneas de los sistemas regionales.

Complementario a lo anterior es el aspecto del control. Además de las redes piezométricas y de calidad correspondientes, es necesario hacer un seguimiento detallado de la evolución de los acuíferos, de manera que se cumpla el principio de precaución. No sólo en cuanto a la evolución de niveles de agua en los ciclos de bombeo-recuperación de los acuíferos, sino en el aprovechamiento de los datos reales de cara a la profundización en el conocimiento de los acuíferos y de los mecanismos hidrogeológicos, como son la recarga, la propagación a través de la zona no saturada, etc.

El control de las explotaciones debe tener, sobre todo, una previsión sobre el posible empeoramiento de la calidad, que conduzca a la adecuada implementación de medidas preventivas. Así, si se observan indicios de empeoramiento de la calidad de alguna captación, se hace necesario actuar de inmediato.

Es frecuente, en muchas zonas de nuestro país, la existencia de aguas subterráneas de mala calidad o deterioradas por contaminación, generalmente de origen difuso. En ocasiones, las alternativas de sustitución de captaciones pueden ser costosas. Se hace necesario profundizar en determinadas técnicas que puedan solucionar los problemas a precios competitivos. Nos referimos, entre otras, a la ultrafiltración, con sus posibilidades de reducir sustancias disueltas a través de procesos como la ósmosis inversa. La puesta a punto de procedimientos competitivos en esta línea, sirve de gran ayuda en los abastecimientos de aguas subterráneas de amplias regiones españolas.

En este sentido llama la atención el hecho de que, mientras en los países de nuestro entorno europeo se someten a tratamiento elevados porcentajes de aguas subterráneas destinadas a abastecimiento, en España se exige a los acuíferos una calidad apta para el consumo humano con una simple desinfección; exigencia que no rige, en absoluto, para las aguas superficiales, que son tratadas en planta.

### **Uso coordinado o conjunto**

Queda expuesto que dicho tipo de uso se está intentando en la práctica de forma natural. No obstante conviene hacer un par de reflexiones. Por una parte, convendría separar este concepto del lado de la oferta: hasta ahora, parece que se propugnaba el uso de los acuíferos para ofertar mayores volúmenes. Ello, por una dinámica inevitable, podría conducir a situaciones no sostenibles. En ese sentido quizá la hidrogeología del futuro no puede ser otra cosa que ecohidrogeología, que incluya en su seno el concepto de sustentabilidad. No se trata de explotar más los

TECNOLOGÍA	RELACIÓN INVERSIÓN/PRODUCCIÓN (pta/m <sup>3</sup> /año)	COSTE RESULTANTE (pta/m <sup>3</sup> )
Embalses	120-300	10-50
Trasvases	230	30-80
Extracción aguas subterráneas	30-150	5-30
Ahorro	270	>25
Reutilización aguas residuas	?-700	50-150
	400-550	150-300

Fuentes: varias, recogidas en López-Camacho (1996).

*Tabla 4. Comparación de costes del m<sup>3</sup> de nuevas fuentes (España, 1996).*

acuíferos; al contrario, cuando sea posible o necesario se debe ir a explotarlos menos, guardando sus importantes reservas estratégicas para puntas, escaseces o sequías, en las que las reservas tienen mayor valor. De este modo -al tener los acuíferos más llenos- en general se protegerá mejor su calidad y los ecosistemas ligados al flujo de las aguas subterráneas, y se evitarán otras acciones con efectos en ocasiones negativos para el medio ambiente. Otra cosa es que el equipamiento de bombes necesario sea mayor que el actual, así como mayor red de seguimiento y control. Esta conjunción posible de objetivos-reservas acuíferas estratégicas para el abastecimiento, con lo que, a la vez, se protegerá la calidad de las aguas y los ecosistemas concernidos- constituye una línea de trabajo de gran interés para los próximos años. El desarrollo y plasmación de la idea requiere un amplio esfuerzo conceptual de planificación, de realización y de control y seguimiento; pero, sin duda, está en línea con el espíritu de los documentos europeos sobre la materia.

## **COSTES COMPARATIVOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Al tratar del papel de las aguas subterráneas en los abastecimientos, en las dos facetas que acaban de exponerse (como suministro de base o complemento en períodos de sequía), no se puede evitar referirse a los costes de las instalaciones de aguas subterráneas, y su comparación con otras fuentes de recursos.

No es posible, en el presente trabajo, profundizar en tan amplio tema; una más amplia exposición puede verse en, por ejemplo, López-Camacho (1996); nos limitaremos a exponer a continuación una síntesis de dichos análisis.

Para ello utilizaremos dos parámetros frecuentes en los estudios de tipo económico: la relación inversión/disponibilidad, en pta/m<sup>3</sup>/año, y el coste resultante para el m<sup>3</sup>. En la *tabla 4* se resumen los resultados de las distintas tecnologías, que se

pasan a comentar brevemente.

Las relaciones inversión/producción (o mejor inversión/disponibilidad) proceden, fundamentalmente, de las últimas estimaciones realizadas en nuestro país hasta la fecha; básicamente del borrador del Plan Hidrológico Nacional, en su versión de 1994, y del Avance del Plan Nacional de Regadíos (1995), complementados con datos de los sectores de tecnologías más específicas, como son los casos de aguas subterráneas y desalación.

El paso de las relaciones inversión/disponibilidad al coste del  $m^3$  del agua procedente de diversas fuentes, presenta difíciles problemas, lo que obliga -aún a riesgo de cometer importantes errores- a reducir las consideraciones a supuestos simplificados, aunque razonables y homogéneos, de tasa de descuento, gastos de explotación ajustados a cada tipo de tecnología, vida útil de las instalaciones, gastos energéticos medios, factor de utilización, etc. Con este tipo de supuestos, y considerando exclusivamente los costes correspondientes a amortización de inversiones, gastos energéticos y de operación, se llega a las cifras de la *tabla 4*.

El coste de los nuevos aprovechamientos de aguas superficiales por medio de embalses, viene a situarse entre 10 y 30 pta/ $m^3$ , pudiendo llegar a 50 pta/ $m^3$  (o incluso mayor) si los embalses sólo tienen utilización real en períodos de sequía (entraríamos en el capítulo de los llamados costes de garantía, lo que nos vedamos en este momento). El coste de trasvases (sin embalses de regulación) es lógicamente muy variable, al ampliar el abanico de hipótesis, incluso el factor de utilización real, en el caso de consideraciones estratégicas. Para las extracciones de aguas subterráneas, en condiciones medias y según las condiciones hidrogeo-lógicas, los costes se sitúan entre 5 y 20 pta/ $m^3$ , pudiendo llegar a 30 o más en el caso de utilizar los campos de pozos sólo en períodos de sequía (un año de cada cuatro o cinco en promedio). La regeneración de aguas residuales, según tratamiento y necesidades de infraestructura de aprovechamiento, pueden situarse entre 50-100 pta/ $m^3$ . El ahorro de agua procedente de la mejora y modernización del regadío no

VALORES DE EXTRACCIÓN	VALORES "IN SITU"
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abastecimiento</li> <li>- Usos industriales (incluso refrigeración)</li> <li>- Regadíos (incluso drenajes)</li> <li>- Energéticos (geotermia, bomba calor)</li> <li>- Otros (aguas minerales, balnearios, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ecológicos (ecotonos)</li> <li>- Reserva para sequías</li> <li>- Usos indirectos (flujos, recreativos)</li> <li>- Calidad (incluso dilución)</li> <li>- Evitar intrusión salina</li> <li>- Evitar subsidencias</li> <li>- Valor de existencia (catástrofes)</li> </ul>

*Tabla 5. Valoración económica del agua subterránea*

bajará de 25 pta/m<sup>3</sup>. La desalación del agua del mar, con la tecnología actual y sin captura de beneficios del sistema eléctrico, se sitúa entre 150-300 pta/m<sup>3</sup>, contabilizando la totalidad de costes.

Estas cifras, que indican la carestía de la obtención de nuevos recursos para el incremento de garantías, al tener ya captados los más viables (costes marginales crecientes), ponen de manifiesto, por otra parte, el interés de los mecanismos de reasignación de concesiones de los usos de menor valor a los de mayor, con incremento de la eficiencia, lo que está produciendo, en las zonas de escasez, el desarrollo de mercados y bancos de agua. En esa línea es de prever que, en el futuro, se desarrollen los mercados derivados para coberturas de riesgos (opciones y futuros), por las amplias ventajas que pueden ofrecer, para resolver situaciones de penuria, en los sectores que pueden llevar a cabo un pago atractivo por el recurso a otros usuarios a los que el agua les produce un menor rendimiento (normalmente estos contratos se han efectuado entre regantes y abastecimientos).

## VALORIZACIÓN ECONÓMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La valoración de costes que acaba de realizarse, se reduce exclusivamente a las consideraciones “productivistas” del agua. Los textos modernos dedicados a la economía de los recursos naturales (p. ej. Paarde and Turner, 1990 y 1995), nos advierten del error de reducir el valor de los recursos a los costes de amortización de las inversiones y de operación, sin incluir valores ambientales y de existencia, llamando la atención sobre las consideraciones de sostenibilidad, incertidumbre e irreversibilidad de los recursos naturales

Por su parte, el National Research Council de los EE.UU., ha llevado a cabo, en 1997, un detenido estudio sobre el valor de las aguas subterráneas, del cual extraemos unas ideas, adaptándolas a nuestro caso.

En dicho estudio se afirma que, hasta hace pocas décadas, la atención se ha centrado, principalmente, en los efectos de la explotación del recurso, sin considerar los efectos sobre otros recursos naturales únicos, como podrían ser los humedales y otros ecosistemas. Un paso fundamental, sería reconocer y cuantificar el valor económico total del recurso, suma de los valores de extracción e *in situ*. En la *tabla 5* se recogen los valores que podrían incluirse en cada categoría.

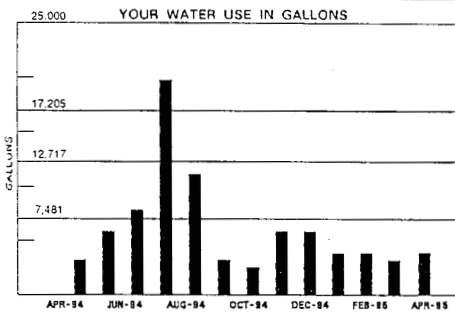
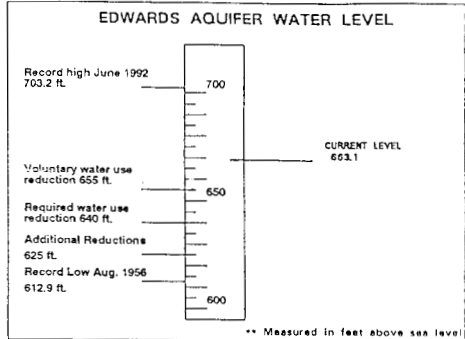
Así, entre los valores de extracción, nos encontraríamos los más familiares: abastecimientos, industrias, regadíos, etc. Los servicios del agua subterránea *in situ* (servicios o valores que suceden o existen como consecuencia de la permanencia del agua en el acuífero) incluyen, por ejemplo, la capacidad del agua subterránea para: 1) servir de reserva para la sequía; 2) prevenir o minimizar subsidencias del terreno; 3) proteger frente a la instrucción salina; 4) proteger la calidad del agua mediante el mantenimiento de la capacidad de asimilar y diluir contaminantes; 5) facilitar el sostenimiento de humedales y otros ecosistemas hidrodependientes; 6)

# San Antonio Water System

P.O. Box 2990  
 San Antonio, Texas 78299-2990  
 (210) 225-5222



CURRENT BILL SUMMARY	
JANE E. DOE 6102 LEON VALLEY AVE ACCOUNT # 19 8315 235144 1	
WATER	8.10
SEWER	10.27
FEDERAL STORMWATER FEE	1.99
<b>AMOUNT DUE NOW</b>	<b>20.36</b>
5% LATE FEE AFTER MAY 17 95	0.92
<b>TOTAL WITH LATE FEE</b>	<b>21.28</b>
(Detailed bill calculation on back)	



YOUR WATER USE WAS 4,488 GALLONS.

YOUR NEIGHBORHOOD AVERAGE WATER USE WAS 8,229 GALLONS.

SAWS RESIDENTIAL AVERAGE WATER USE WAS 10,473 GALLONS.

PERSONALIZED MESSAGE

YOUR CURRENT MONTH USAGE IS MORE THAN THE SAME TIME LAST YEAR.

YOUR WINTER AVERAGE IS 4,488 GALLONS. THIS AVERAGE, BASED ON YOUR USAGE BETWEEN NOVEMBER 15 AND MARCH 15, GENERALLY REPRESENTS INDOOR WATER USE. WATER USE IN EXCESS OF THIS AVERAGE MAY BE ATTRIBUTED TO OUTDOOR APPLICATION. THIS MONTH YOUR WATER USE IS EQUAL TO YOUR WINTER AVERAGE.

DETACH HERE

PLEASE PRESENT BOTH PORTIONS IF PAYING IN PERSON

DETACH HERE

RETURN BOTTOM PORTION WITH PAYMENT

19 8315 235144 1

01606 CR\*RT SORT

CAR-RT SORT \*\* 8002

JANE E. DOE  
6102 LEON VALLEY AVE  
SAN ANTONIO TX 78227-0144

AMOUNT DUE NOW..... \$20.36

AMOUNT DUE AFTER MAY 17 95  
(INCLUDES 5% LATE CHARGE)

\$21.28

398315235144100002128000020364



If you have any question about your bill, please call (210) 225-5222 or write to: SAWS Customer Service, P.O. Box 2449, San Antonio Texas 78298-2449. SAWS appreciates the opportunity to serve you.

Figura 1. Factura del agua de la Compañía San Antonio Water System. Anverso.


<p style="text-align: center;"><b>CURRENT BILL CALCULATION</b></p> <p>SERVICE DATES FOR THIS STATEMENT: DEC 02 JAN 04 95          RESIDENTIAL/ICL SERVICE ACCOUNT: 04 0951 257026 4          TOTAL DAYS OF SERVICE: 33          METER READING ON: DEC 02 94 1,195          METER READING ON: JAN 04 95 1,203          METER WATER USE (GALLONS) 0</p> <p style="text-align: center;"><b>WATER</b></p> <p>(5/8) INCH METER CHARGE 5.13          3.96          SUBTOTAL FOR WATER 9.09</p> <p style="text-align: center;"><b>SEWER</b></p> <p>YOUR PRORATED SEWER CHARGES ARE 15.98          SUBTOTAL FOR SEWER 15.98</p> <p style="text-align: center;"><b>FEDERAL STORMWATER FEE</b></p> <p>RESIDENTIAL LOT MORE THAN 4,999 SQ/FT 1.99          SUBTOTAL FOR STORMWATER 1.99</p> <p style="text-align: center;"><b>OTHER CHARGES</b></p> <p>CREDIT BALANCE 57.87CR          SUBTOTAL FOR OTHER CHARGES 57.87CR</p> <p style="text-align: center;"><b>TOTAL CURRENT CHARGES 30.81CR</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>HOW TO READ YOUR METER</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin: 5px 0;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">X</span> </div> <p>YOUR METER HAS A NUMBER DISPLAY SIMILAR TO THE ONE PICTURED ABOVE. READ THE METER FROM LEFT TO RIGHT. NUMBERS WITH A BLACK BACKGROUND ARE NOT USED IN THE CALCULATION OF YOUR MONTHLY WATER CONSUMPTION AND SHOULD BE DISREGARDED. SUBTRACT THE PREVIOUS METER READING (PROVIDED IN YOUR STATEMENT) FROM YOUR CURRENT OBSERVATION. THE RESULT WILL INDICATE THE AMOUNT OF WATER USED (IN HUNDREDS OF CUBIC FEET) SINCE THE LAST METER READING. TO CONVERT THIS USAGE TO GALLONS MULTIPLY THIS AMOUNT BY 7.48.1.</p> <p style="text-align: center;"><b>EXAMPLE</b></p> <p style="text-align: center;">1,203-1,195=0      0X748.1=0</p>	
<p><b>CUSTOMER SERVICE LOCATIONS AND HOURS</b></p> <p>---803 Castroville Road(Las Palmas) 8:00 am - 5:00 pm          ---3930 E. Houston Street 7:45 am - 4:30 pm          ---1001 E. Market Street 7:45 am - 4:30 pm</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>---Monday - Friday              ---All Customer Service transactions</p> </div> <p style="text-align: center;"><b>SAWS PHONE NUMBERS</b></p> <p>---Customer Service/ 225-5222          ---Water Emergencies/ 227-6143          ---Sewer Emergencies/ 533-6192          ---Business Office/ 704-SAWS</p>	<p style="text-align: center;"><b>MAKE A NEW YEARS RESOLUTION...</b></p> <p>...TO CONSERVE WATER. START BY LEARNING TO READ YOUR METER. SEE "HOW TO READ YOUR METER" ABOVE. ONCE YOU HAVE LEARNED TO READ YOUR METER, YOU CAN USE IT TO CHECK FOR LEAKS. FIRST SHUT OFF ALL THE WATER IN YOUR HOME. THEN READ YOUR METER, WAIT FIFTEEN MINUTES WITHOUT USING ANY WATER AND GO READ THE METER AGAIN. IF THE DIAL HAS MOVED, THEN YOU HAVE A LEAK.</p> <p>BEGIN BY CHECKING FOR LEAKS IN TOILETS. PUT A BIT OF FOOD COLORING IN THE TOILET TANK. WAIT A FEW MINUTES WITHOUT FLUSHING THE TOILET THEN LOOK FOR COLOR IN THE BOWL. COLOR INDICATES YOU HAVE A LEAK. IT IS NOT UNCOMMON TO LOSE UP TO 100 GALLONS A DAY FROM THESE INVISIBLE LEAKS. CONSIDER REPLACING YOUR STANDARD 7 TO 3.5 GALLONS PER FLUSH TOILET WITH A 1.6 GALLONS PER FLUSH TOILET. FOR ADDITIONAL SAVINGS TAKE ADVANTAGE OF THE "KICK THE CAN" PROGRAM (OPEN TO SAWS' RESIDENTIAL CUSTOMERS ONLY).</p>	
<p>Para recibir su estado de cuenta en español favor de llamar 225-5222</p>		<p>Para recibir su estado de cuenta en español favor de llamar 225-5222</p>

Figura 2. Factura del agua de la Compañía San Antonio Water System. Reverso.

proporcionar descargas para soporte de actividades recreativas. Todos estos serían valores de uso en la terminología de la economía de los recursos naturales. Junto a ellos se encuentran los valores de "no uso", es decir aquellos relacionados con la mera existencia de un capital natural, que también valoran las personas. Entre ellos está el valor de saber que el agua subterránea se encuentra en el acuífero, e incluso el de legado a las futuras generaciones. Como es natural, todos estos

nuevos conceptos se encuentran en fase de debate, así como los métodos de su estimación (todo el conjunto de métodos indirectos, como por ejemplo los métodos del coste de evitar enfermedades o daños, de los costes de viajes, de la evitación de gastos, disposición a pagar o a cobrar, etc).

Aún con la dificultad inherente a la estimación de los valores de los conceptos cuando no existen mercados de los recursos naturales, las consideraciones expuestas nos pueden ayudar a reflexionar sobre cuestiones que planteábamos al principio: por ejemplo, las ventajas en determinadas situaciones de no explotar (o explotar menos) determinados acuíferos, superando el mero concepto desarrollista de la explotación *per se*. En otras palabras: estas reflexiones pueden ayudar a una consideración más profunda del valor (incluso económico) de los acuíferos, que permitirá inclinarse en cada caso por su aprovechamiento (y en qué grado) o por los valores *in situ* o de existencia de las aguas subterráneas, papel hasta ahora poco reconocido y aceptado.

## **INFORMACIÓN SOBRE EL CONTROL DEL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Por último, y dentro del tema de la valorización de las aguas subterráneas, queda por tratar -siquiera brevemente- el tema de la información que podría o debería facilitarse, tanto a los usuarios como a las administraciones concernidas. Nos limitaremos a un simple ejemplo, que nos puede ahorrar varios párrafos.

Se trata de la factura del agua que presenta a los clientes la compañía San Antonio Water System, que mereció un primer premio en el Congreso de la International Water Services Association (IWSA) celebrado en Madrid, en septiembre de 1997.

En el anverso de la factura (*figura 1*) es de reseñar la información que se facilita, de forma sintética, sobre el estado del acuífero que constituye la fuente de abastecimiento, en este caso el acuífero de Edwards, en el que, junto a la situación actual de los niveles, se recogen los máximos y mínimos registrados y los distintos niveles en los que comenzarían a aplicarse una serie de medidas preestablecidas (desde reducción voluntaria de uso hasta reducciones obligatorias). Asimismo se incluye un gráfico histórico de los consumos del usuario durante el último año (similar al que se presenta frecuentemente en las facturas de electricidad), junto con una serie de datos de referencia para el usuario, como son: media del consumo de los vecinos, media del consumo del conjunto residencial al que pertenece, comparación con el consumo del mismo mes del año anterior y estimación acerca del tipo de consumo (si se trata de usos atribuibles al interior o exterior de la vivienda).

En el reverso (*figura 2*) son de reseñar las instrucciones para detectar posibles fugas domésticas, así como recomendaciones para su corrección.