

COMPETENCIA SOBRE AGUA, ENERGÍA Y AMBIENTE

5° ciclo - año 2011

Bibliografía 14° programa:

Temas:

1) Reúso de aguas servidas

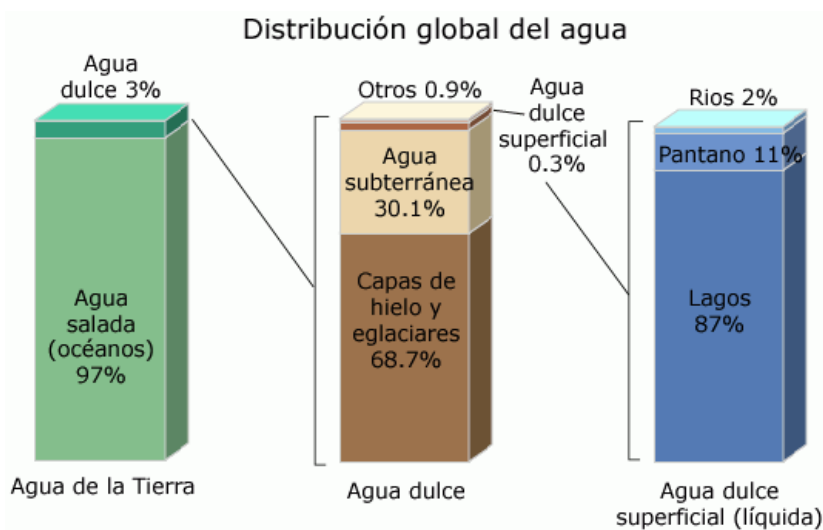
2) Energía solar

1 - REÚSO DE AGUAS SERVIDAS

INTRODUCCIÓN

El agua es una necesidad absoluta, simplemente no podemos vivir sin agua. Tengamos siempre presente que sin agua no hay vida: que es posible sobrevivir hasta dos meses sin comer pero sin tomar agua difícilmente superemos una semana.

El agua es un componente de nuestra naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3.000 millones de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta.



El 75% de la superficie de nuestro planeta está cubierta de agua, pero al alcance y con las tecnologías disponibles es económicamente explotable menos del 1%.

El agua contaminada es y debe ser parte del agua que podemos usar, luego de que la tratemos adecuadamente. **Cuanta más agua contaminada depuremos, tanto menos recurso natural deterioramos.**

En el curso de la historia las aguas residuales se han considerado como una molestia que debe eliminarse en la forma menos costosa y ofensiva posible. Esto equivalía a utilizar sistemas de disposición en el sitio –por ejemplo los retretes de pozo- y de descarga directa en lagos y corrientes de agua. Durante el siglo pasado se reconoció que este método tiene efectos indeseables sobre el ambiente. Esto ha desembocado en diversidad de técnicas de tratamiento. En el interés de lo sustentable y de la eficiencia económica, **se debe considerar al agua residual como una materia prima que se debe conservar.**

La contaminación del agua como resultado de las actividades humanas es, pues, una de las principales causas de las tensiones existentes entre el hombre y el medio ambiente. Minimizar los efectos de esa contaminación es tal vez uno de los retos más relevantes de las sociedades desarrolladas.

Hasta hoy el agua ha sido tomada como un recurso renovable, sin embargo esto será así en la medida en que no se continúe contaminando las fuentes de este recurso.

En muchas partes del mundo, el agua ha dejado de ser un commodity para transformarse en un recurso escaso que debe gestionarse de manera planificada e inteligente.

Las aguas residuales regeneradas constituyen un recurso no convencional de agua que se ha desarrollado en los últimos decenios. No obstante, para poder proceder a reutilizar este recurso se requieren las tecnologías adecuadas y estudios previos detallados. Se revisan las tecnologías correspondientes, así como la legislación respecto a la reutilización de aguas residuales.

El empleo de aguas residuales para regar los cultivos era ya una práctica corriente en la Atenas clásica. En el Extremo Oriente, las aguas residuales humanas se han venido utilizando durante milenios para abonar los estanques donde se cultivaban peces y plantas acuáticas. Actualmente son muchos los países, tanto industrializados como en desarrollo, que utilizan las aguas residuales domésticas para regar terrenos agrícolas.

Agua residual depurada: un recurso no convencional

Recursos convencionales	Recursos no convencionales
Agua superficial	Escorrentía
Agua subterráneas	Agua residual regenerada
	Agua de mar desalinizada
	Agua salobre desalinizada
	Transportes no convencionales

Dentro de estos recursos no convencionales, caben destacar como los más importantes en volumen y disponibilidad, **las aguas residuales regeneradas**.

Cuando se produce un desequilibrio en el balance entre recursos naturales convencionales y necesidades de agua (oferta/demanda) es necesario restablecerlo mediante algún mecanismo no convencional.

La creciente demanda de agua para uso doméstico, comercial, industrial y agrícola ha permitido que la recuperación y la reutilización de aguas residuales depuradas sea una alternativa atractiva para conservar y extender los recursos hídricos disponibles. El agua residual depurada – urbana o industrial- es un recurso no convencional que supone disponer de una nueva fuente de agua y contribuye a equilibrar el desbalance mencionado más arriba.

Las estrategias modernas de planificación de recursos hídricos se orientan a la gestión integrada del agua y comprenden cuatro aspectos fundamentales:

- Gestión de la demanda
- Gestión del suministro
- Protección ambiental
- Desarrollo sostenible

El principal objetivo de esta forma de planificar el uso del agua es asegurar un equilibrio dinámico entre las necesidades creadas por las actividades humanas y las necesidades de la naturaleza.

Las opciones disponibles para conservar y preservar el agua son: 1) minimización de fugas y pérdidas en los sistemas de distribución de agua potable; 2) mejora de la eficiencia de los sistemas de riego; 3) tratamiento, recuperación y reúso de aguas residuales y 4) desalinización de agua salobre o de mar.

El reúso de aguas residuales depuradas se ha transformado en un componente integral en la gestión de recursos hídricos. La recuperación de aguas residuales depuradas urbanas o industriales tiene múltiples beneficios, los cuales se citan a continuación:

- la conservación global del agua
- la mayor disponibilidad de recursos hídricos
- la reducción de la contaminación hídrica mediante la disminución de las descargas de aguas residuales –tratadas o no – a cursos de agua superficial o subterránea.

Sin embargo, los problemas sanitarios asociados con la reutilización de aguas residuales deben ser evaluados cuidadosamente. Al mismo tiempo, es imprescindible establecer y desarrollar criterios que permitan reducir de manera efectiva y eficiente los riesgos sobre la salud, permitiendo alcanzar los objetivos deseados y aprovechar los beneficios sociales y económicos que brinda la recuperación de aguas residuales.

Por ejemplo, regar con aguas residuales sin depurar implica riesgos sanitarios potenciales, básicamente vinculados con la posible diseminación de microorganismos patógenos existentes en el agua residual por medio de tres vías:

1. contaminación de alimentos que se consumen crudos y que han sido regados con agua residual
2. infección de personas por contacto directo con el agua residual
3. aerosoles producidos por el sistema de riego utilizado

En sitios con escasez de agua crónica o estacional, la recuperación de aguas residuales depuradas es una buena práctica de gestión del recurso y está internacionalmente aceptada. Además de proveer una fuente adicional de agua para el riego y de nutrientes para el suelo y otros cultivos valiosos (por ejemplo), darle más de un ciclo de uso al agua retornándola a la tierra presupone prevención de la contaminación de las fuentes naturales –ríos, lagos, acuíferos- y mayor protección y seguridad de los suministros de agua potable para la población.

Aunque el reúso de aguas residuales se ha venido practicando desde hace tiempo en varias regiones del planeta, hay una serie de factores que han contribuido a incrementar el interés en la investigación y el desarrollo de técnicas seguras y confiables que permitan implementar con éxito proyectos de recuperación y posterior reutilización de aguas residuales urbanas – municipales – y/o industriales.

El empleo posible de las aguas residuales se ha desarrollado en función de la implantación globalizada, y marcada por la ley en muchos países, de las plantas depuradoras. Esto ha tenido diversas consecuencias. Por una parte han disminuido localmente los caudales disponibles, ya que las aguas residuales sin depurar han sido canalizadas y desviadas de los puntos habituales de vertido. Por otra, la situación administrativa ha cambiado, ya que al estar el recurso agua residual controlado teóricamente, se debe seguir una vía legal para utilizarlo.

El recurso agua residual

El agua residual se produce de una forma relativamente continua; es decir, se trata de una “fuente” teórica de agua con características de continuidad en el tiempo.

En todos los países de la cuenca mediterránea y en muchos lugares de centro y Sudamérica se ha practicado desde hace siglos la reutilización, directa o indirecta, de las aguas residuales, ya sea para usos agrícolas (riego de cultivos en las afueras de las ciudades) o como agua de boca después de diversos vertidos. El conocimiento del riesgo asociado a estas prácticas propició por una parte la construcción de sistemas de alcantarillado que extraían de los núcleos de población

las aguas usadas, y bastante posteriormente la construcción de plantas depuradoras en los casos en que la sociedad es capaz de asumir este gasto.

En cierta manera, el objetivo de la depuración fue inicialmente la reducción del impacto del vertido a las aguas receptoras y la consideración sanitaria del riesgo asociado al contacto del agua residual con las personas. En algún momento de la historia reciente, prevalecieron otras consideraciones, más de tipo hídrico, y en este sentido, el objetivo de los planes de saneamiento pasó a ser el mantenimiento de la calidad de los cauces de agua, para asegurar el turismo balneario o hacer disminuir los costes de la potabilización del agua.

Con la aparición histórica de problemas de escasez de agua, de tipo temporal o estructural, se generó una atención a un recurso cercano, concentrado y cuya calidad era relativamente constante y conocida: el agua residual. Por otra parte, es sobradamente reconocido que determinados vegetales regados con agua residual tienen un crecimiento excelente y una apariencia que permite su venta con buenos beneficios. Así, aguas abajo de los albañales de muchas ciudades, han aparecido a lo largo del tiempo explotaciones agrícolas de hortalizas, que se venden en los mercados de la misma ciudad donde se han generado esas aguas residuales. Esta práctica sigue vigente en la actualidad, por ejemplo en la ciudad de México o en muchas urbes de África e incluso en algunos lugares de España.

Intuitivamente, resulta natural pensar que la aplicabilidad del agua residual recuperada es función de su calidad física, química y microbiológica. Cada uso exige una calidad mínima de agua. La calidad de la fuente de agua cruda, el sistema de tratamiento existente, la fiabilidad de ese tratamiento y el diseño y operación del sistema de distribución son factores clave que inciden decididamente sobre la calidad del agua recuperada.

Dependiendo del uso, deben considerarse los siguientes criterios a la hora de establecer la calidad de agua más apropiada:

- **Protección de la salud pública:** las preocupaciones siempre están ligadas a temas microbiológicos. El agua recuperada debe ser segura desde el punto de vista sanitario.
- **Efectos del riego:** debe estudiarse con cierto rigor el efecto que los componentes individuales del agua recuperada pueden causar en el suelo, los cultivos, la vegetación y el agua subterránea
- **Aspectos medioambientales:** la flora y la fauna naturales de la zona no deben verse alteradas por el empleo del agua recuperada. Idem para los cuerpos receptores.
- **Estética:** para usos de “alto perfil” como por ejemplo riego urbano y descarga de inodoros el agua recuperada debe ser, en apariencia, como el agua potable. Es decir, no debe tener color, olor ni turbidez.
- **Percepción del público o del usuario:** el agua recuperada debe percibirse como un producto seguro y aceptable para el uso en estudio.
- **Realidad política:** las decisiones vinculadas con aspectos regulatorios, a veces están basadas en el “clima” político, en la percepción y actitud públicas y en creencias personales y costos no necesariamente monetarios.

Actualmente, existe tecnología probada y suficiente para obtener agua de cualquier calidad deseada a partir de agua residual como materia prima. El gran desafío es lograr que haciendo uso de esa tecnología los proyectos de recuperación de agua sean factibles económicamente no sólo en los países industrializados.

El interés creciente por la recuperación, reciclado y reutilización de aguas residuales en diferentes lugares del planeta ocurre como respuesta a las necesidades de disponer de suministros seguros y de alta calidad para la agricultura, la industria y el público en general; situación ésta, exacerbada durante los períodos de sequía que suelen darse con frecuencia en algunos sitios específicos de la Tierra.

El reúso de agua ha experimentado una evolución tal, que se ha transformado en un factor integral en la promoción y fomento de la planificación y uso eficiente de los recursos hídricos.

El agua es un recurso clave que puede condicionar el crecimiento económico, principalmente en áreas áridas y semiáridas donde el equilibrio entre oferta y demanda de agua se establece con inexorable velocidad.

Oferta y demanda, cantidad y calidad son conceptos que deben ser manejados con conocimiento, criterio y planificación. No debemos olvidar que el agua es un recurso naturalmente “cíclico” en el sentido de que es introducido nuevamente en el medio una vez utilizado. El ciclo natural del agua está desfasado del ciclo “antrópico” del agua. Por este motivo, resulta muy importante preservar este último para mejorar las necesidades derivadas del primero.

En este marco, la recuperación de aguas residuales depuradas para su posterior reúso pasa a ocupar un rol preponderante en una política moderna de gestión del agua. El concepto que está siendo difundido cada vez con mayor énfasis en los países más adelantados en esta materia es considerar el **agua recuperada** no sólo como un **recurso alternativo** sino como un **nuevo producto** que existe en el mercado del abastecimiento y saneamiento de aguas.

El agua recuperada y sus aplicaciones potenciales

Antes de desarrollar este punto, es necesario dejar claramente establecida la diferencia conceptual que existe entre **depuración** y **recuperación** de aguas.

Se depura para alcanzar una calidad de efluente tal que esté en condiciones de ser descargado a un cuerpo receptor (sólidos en suspensión, nutrientes, materia orgánica, etc). En otras palabras, la depuración se hace por una cuestión legal y de sostenibilidad ambiental.

Se recupera para proteger las fuentes de abastecimiento de mayor calidad, para aumentar la disponibilidad global de agua y convertir un residuo líquido en una materia prima apta para su reutilización.

Cada uso exige un agua con características cualitativas bien definidas. Mediante la combinación de procesos adecuados es posible alcanzar la calidad de agua deseada.

Usos del agua reutilizada

Los principales usos del agua regenerada son los siguientes:

- Riego agrícola y forestal
- Usos municipales (riego parques y jardines, limpieza de calles, extinción de incendios, etc.)
- Usos recreativos (riego de campos de golf, lagos artificiales, etc.)
- Usos industriales (lavado y transporte de materiales, agua de refrigeración, calderas, aguas de proceso, etc.)

- Agua potable; posible técnicamente, aunque en muchos países no está legalmente permitido
- Usos ambientales; recarga de acuíferos, lucha contra la intrusión marina, conservación de caudales ecológicos.

En cualquiera de los casos, se hace necesario que el agua regenerada no contenga sustancias peligrosas ni tóxicas que puedan tener efectos negativos sobre el medio ambiente o sobre la salud de las poblaciones.

En la tabla siguiente se resumen los principales tipos de reutilización y sus aplicaciones.

USOS	APLICACIONES	COMENTARIO
Agrícolas	Cultivos para consumo Humano	CALIDAD MAXIMA
	Cultivos que no se consumen o que se consumen una vez procesados	MENOR CALIDAD
Industriales	Agua para proceso, Agua para limpieza Agua para enfriamiento, Agua para calderas Agua para control de polvo	CALIDADES VARIABLES SEGÚN EL CASO ESPECIFICO
Urbanos	Riego de espacios verdes y otros usos(parques, jardines, fuentes ornamentales, red de incendio, aire acondicionado)	SIN RESTRICCIONES (CALIDAD MAXIMA)
	Riego en zonas con acceso restringido o controlado(cementerios, áreas residenciales)	MENOR CALIDAD
	Otros(lavado de calles y autos, construcción)	
Recreativos	Natación (contacto agua-individuo) Campos de golf , pesca y navegación (sin contacto agua-individuo)	SIN RESTRICCIONES (CALIDAD MAXIMA)
Recarga de acuíferos	Explotación para abastecimiento (inyección en profundidad) Barrera contra intrusión marina	CALIDAD POTABLE CALIDAD NO POTABLE
Agua Potable	Agua de abastecimiento público Mezcla con otras aguas	CALIDAD POTABLE (Concepto de barrera Múltiple)

Usos potenciales de agua regenerada en la industria

a) **Agua de refrigeración:** Es uno de los principales consumos de agua en la industria. Los principales problemas asociados relacionados con control de la corrosión, la formación de incrustaciones y el crecimiento biológico, se pueden dar con todo tipo de aguas. En E.E.U.U. por ejemplo hay referencias del uso de aguas regeneradas para esta aplicación desde los años sesenta.

b) Agua de alimentación a calderas: Requieren de una alta calidad, y por lo tanto de un importante tratamiento previo, tanto si son aguas regeneradas como convencionales. Normalmente, cuanto más elevada es la presión a la que trabaja la caldera, más estrictos son los requerimientos de calidad del agua. En esta aplicación hay que conseguir muy reducidos niveles de dureza, sílice y aluminio. Los caudales relativamente bajos que se precisan para estas aplicaciones, y la alta calidad exigida, hacen que ésta no sea una de las aplicaciones donde el uso de agua regenerada sea más atractivo.

Principales industrias que utilizan aguas regeneradas:

- Industria papelera
- Industria química
- Industrias textiles
- Industria petrolífera y del carbón

El uso de aguas servidas para riego agrícola

Algunos se preguntan si es lícito, sano y económico usar aguas servidas para riego agrícola luego de un tratamiento primario (remoción de sólidos en suspensión).

No hay un acuerdo internacional sobre cual es el tratamiento que se debe dar a las aguas servidas para reutilizarlas en irrigación. Existe una controversia bastante dura sobre el tema.

En un extremo esta la 'Escuela California' que exige un tratamiento avanzadísimo. En el otro extremo están las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, que permiten la irrigación de vegetales que no se comen crudos con aguas servidas luego de tratamiento primario. Hay un amplio espectro de posiciones entre ambos extremos.

Ambas escuelas concuerdan en que deben establecerse normas diferentes para la irrigación de vegetales que se comen crudos (lechuga, perejil, etc.), y plantaciones industriales (algodón, olivares, etc.). Hay quienes reconocen estas dos únicas categorías de plantaciones y hay quien discrimina en 4 o 5 categorías, incluyendo irrigaciones de parques públicos o parques de golf.

El tema esta siendo intensamente estudiado y discutido. Parece probable que la Unión Europea adopte una norma menos rígida que la californiana, pero más rígida que la de la OMS.

En Israel se reutiliza más del 60 % de las aguas servidas, y hay una serie de normas bastante complejas.

Parte de las aguas usadas para irrigación 'se escapan' del suelo y van a parar, vía drenaje o infiltración, a ríos, lagos o el acuífero. Así pues, el impacto ambiental de estas aguas que 'escapan' del sistema de riego también es un componente importante para determinar que tipo y grado de tratamiento es requerido para la reutilización de las aguas servidas.

Aspectos sanitarios

Una consideración clave a la hora de evaluar la factibilidad de un proyecto de recuperación de aguas para reúso es la presencia en la fuente de agua cruda de compuestos químicos y microorganismos potencialmente dañinos para la salud humana.

Tradicionalmente, se intentó seguir al pie de la letra el axioma que reza “la fuente de agua utilizada para consumo humano debe ser aquella que tenga la máxima calidad disponible”. Pero el transcurso del tiempo ha demostrado que no siempre es posible satisfacer el axioma. ¿Motivos? El desarrollo económico y el inexorable aumento de la población mundial trajeron consigo un incremento del consumo del recurso agua, lo cual llevó a contaminarlo y/o agotarlo en muchos sitios de nuestro planeta. Muchas ciudades alrededor del mundo han optado por tener como fuente primaria de agua potable los ríos que pasan por sus inmediaciones, los cuales reciben importantes descargas de aguas residuales urbanas o industriales de puntos ubicados aguas arriba de la toma. Vale decir que el reúso indirecto potable no planificado es una práctica muy extendida en diversas áreas de la geografía terrestre.

Mientras que los requisitos de calidad de agua para reúso no potable son bastante “manejables” y sus requerimientos de tratamiento probablemente no sufran cambios significativos en el futuro, los estándares de calidad de agua potable cada vez son más estrictos. Esta circunstancia es una fuerte tendencia internacional y es un claro indicador de que la recuperación de aguas para reúso potable será objeto de rigurosos tratamientos y monitoreos. También es cierto que los efectos sanitarios de muchos de los contaminantes regulados individualmente no están suficientemente establecidos.

En definitiva, la pregunta que surge naturalmente es ¿cuáles son los riesgos sobre la salud pública asociados con el uso de aguas recuperadas? Parte de la respuesta es: los riesgos dependen del tipo de agua cruda, del tratamiento que ha recibido, de la aplicación final del agua recuperada y de los criterios adoptados para fijar límites regulatorios.

Las preocupaciones sobre la salud pública respecto del uso de agua recuperada se focalizan en la calidad de la misma, la fiabilidad del tratamiento y en la dificultad que existe para la identificación y estimación de los riesgos que suponen para la salud humana estar expuesto a productos químicos y microorganismos potencialmente tóxicos y patógenos.



La técnica de evaluación de riesgo, esto es, la cuantificación de los riesgos sanitarios por exposición a contaminantes ambientales, es una metodología recomendable para poseer información adicional cuando hay incertidumbre respecto de los efectos sobre la salud pública.

Sea cual fuere la aplicación del agua recuperada para reuso (potable o no potable), siempre existe la probabilidad de exposición humana en forma directa o indirecta. Los medios más tradicionales de exposición son:

- ingestión de agua contaminada
- ingestión de alimentos expuestos a o mezclados con agua recuperada
- inhalación de aerosoles
- contacto dérmico con el agua recuperada

Con el transcurso del tiempo, la ingeniería sanitaria ha adoptado un conjunto de buenas prácticas orientadas a prevenir la incidencia de epidemias y/o brotes de enfermedades infecciosas transmitidas por vía acuática a través de microorganismos patógenos. Estos últimos son los agentes responsables de tales enfermedades y normalmente se encuentran en las aguas residuales urbanas (materia prima habitual para la recuperación). Vale decir que el potencial de transmisión de enfermedades por esta ruta es un hecho irrefutable y concreto.

Los agentes infecciosos de interés presentes en aguas residuales son los de origen intestinal humano o animal. Su ocurrencia y concentración en aguas que no han recibido tratamiento dependen fuertemente de las características de la población que da origen a esos efluentes.

Los organismos de interés se pueden clasificar en cuatro grandes grupos, enumerados a continuación en orden ascendente de tamaño:

- virus
- bacterias
- protozoos
- helmintos

La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que el agua recuperada no contenga más de:

- 1000 bacterias coliformes fecales en 100 mililitros de muestra si el agua se utiliza para riego de cultivos comestibles que no se consumen crudos.
- 200 bacterias coliformes fecales en 100 mililitros de muestra si el agua se utiliza para regar zonas parquizadas con acceso irrestricto.
- 1 huevo de helminto por litro de muestra en cualquier actividad agrícola

Los estándares numéricos recomendados por la OMS son valores mínimos que tienen como argumento científico el hecho de haber surgido luego de la realización de estudios epidemiológicos.

Compuestos químicos

Todos los suministros de agua están sujetos a contaminación por sustancias químicas. Estas pueden agruparse en tres categorías: inorgánicas, orgánicas y radionucleidos.

Las fuentes naturales de agua pueden verse afectadas por procesos físicoquímicos naturales tales como la precipitación, filtración y adsorción. Sin embargo, la actividad antrópica es una fuente inagotable de potencial contaminación, con el consiguiente incremento de riesgo sanitario para la población que hace uso de esos recursos hídricos.

Los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua recuperada pueden estar disueltos o asociados con material particulado. Los efectos producidos sobre la

salud humana pueden manifestarse luego de un contacto o ingesta durante un lapso breve (efecto agudo) o como consecuencia de una exposición crónica (efecto latente).

Para minimizar los riesgos de la potencial exposición a productos químicos existentes en el agua recuperada, es necesario integrar de manera efectiva las tecnologías de tratamiento confiables –concepto de barreras múltiples- y el monitoreo riguroso de calidad de agua.

Tecnologías de tratamiento

En la elección de las tecnologías de regeneración para agua residual suelen preferirse aquellas que no emplean mucha energía. Esto se justifica por el hecho de que el agua residual suele emplearse para riego u otros usos relativamente poco “nobles”. Existen muchas tecnologías que pueden utilizarse individualmente o combinadas. Se describen de manera somera algunas de ellas.

Tecnologías de membrana

Las tecnologías de membrana son muy utilizadas para la desalinización del agua en islas en las que no hay otro recurso o en zonas costeras donde los recursos existentes ya están sobreexplotados. También en algunos casos cuando no se conceden permisos de explotación para determinados usos suntuarios, o en campos de golf, o en explotaciones agrícolas en las que el cultivo permite la inversión y mantenimiento en estas plantas. En este sentido, se están instalando en muchas áreas con aguas salobres numerosas mini-instalaciones de desalinización, creando un problema grave de eliminación de las salmueras y de demanda de electricidad. En el caso de que se empleen estos procesos la reutilización posterior podría considerarse absolutamente obligatoria desde el punto de vista de la sostenibilidad.

Las tecnologías de membrana para regeneración de aguas residuales se emplean únicamente en aquellos casos en que el uso del agua regenerada justifica el precio final (ya que su utilización normalmente implica un consumo de energía considerable), o bien en aquellos casos en que debido al elevado contenido en sales del agua residual, las tecnologías de membrana cumplen diversos cometidos; la regeneración eliminando diversos compuestos y prácticamente todos los microorganismos, y al mismo tiempo la desalinización del efluente. También en aquellos casos en que el agua regenerada se empleará como agua de bebida, en especial la ósmosis inversa será la tecnología de elección (campos de refugiados, naves espaciales, abastecimientos de emergencia).

También puede justificarse la elección para la recarga de acuíferos con agua regenerada. Debemos recordar, no obstante, que para poder aplicar la ósmosis inversa de manera adecuada, se requiere un buen pretratamiento, que puede ser también una ultrafiltración o similar.

Las tecnologías de membrana que se pueden emplear son la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa, electrodiálisis reversible y electrodionización.

Tecnologías de filtración para tratamiento avanzado de aguas residuales

Aparte de los sistemas naturales que ejercen una acción de filtrado se pueden emplear en los procesos de regeneración los filtros clásicos de arena (solos o asociados a procesos físico-químicos; monocapa o multicapa) o bien diversos

procesos innovadores de filtración, entre los que podemos destacar los filtros de anillas.

Filtros de anillas: En este proceso, la filtración tiene lugar usando anillas planas de material plástico provistas de ranuras. Dichas anillas están colocadas una sobre otra y comprimidas, formando el elemento filtrante. Los cruces entre las ranuras de cada par de discos adyacentes forman pasos de agua, cuyo tamaño varía según las anillas utilizadas y la situación relativa de los discos.

Los pasos de agua en un mismo tipo de anillas son máximos donde la ranura de una anilla coincide con la ranura del otro y mínimos donde esta coincide con el espacio entre dos ranuras; este paso mínimo es el que define el grado de filtración de las anillas.

Tecnologías intensivas de regeneración

Si no incluimos aquí los sistemas de membrana ni la filtración, el espectro es muy reducido; y podemos mencionar únicamente los bioreactores a membrana (BRM) y ocasionalmente los SBR (sequencing batch reactors: reactores secuenciales discontinuos) y los biodiscos (RBC: rotating biological contactor).

Sistemas físico-químicos

Se trata básicamente de sistemas en los que mediante un reactivo se procede a la coagulación-floculación, seguida habitualmente de una filtración por arena u otro sistema. Los reactivos empleados suelen ser coagulantes inorgánicos (sales de hierro o aluminio) o bien polímeros orgánicos (polielectrolitos) y a veces se combinan. Tienen una cierta acción desinfectante, ya que las bacterias y virus fijados a los sólidos en suspensión son eliminados con éstos.

Sistemas de lagunaje

Es una tecnología conocida desde hace mucho tiempo y que se basa en la potenciación de la eutrofización (enriquecimiento por nutrientes), mediante la simbiosis de algas y bacterias. La biomasa está en suspensión y se suelen emplear diversas lagunas en serie (anaerobias, facultativas y de maduración; aunque estas pueden a su vez subdividirse y actuar en paralelo). Si se debe reutilizar el agua cobra especial importancia la fase de maduración. El sistema es capaz de lograr una buena desinfección por la acción de la radiación ultravioleta del sol.

Su principal problema es la superficie que ocupan. Se está recuperando esta tecnología (a menudo únicamente los estanques de maduración después de un tratamiento intensivo) para la regeneración de aguas residuales.

Zonas húmedas construidas (Wetlands)

Las ZH son terrenos inundados, con profundidades de agua del orden de 60 cm, con plantas acuáticas emergentes. Combinan zonas anaerobias (principalmente) con aerobias y anóxicas. Se considera que el papel principal en la depuración lo llevan a cabo las colonias instaladas en la grava o arena (material de relleno) y en las raíces y rizomas de las plantas. Estas últimas tienen también un papel activo en el transporte de oxígeno a la zona de las raíces, creando las zonas anóxicas.

Se emplean principalmente dos tipos, los de flujo horizontal sumergido y los de flujo vertical. Se emplean en pequeñas comunidades como tratamiento total o bien como sistema de afinado del efluente (tratamiento terciario) si no se dispone de mucho espacio.

Tecnologías de desinfección para regeneración

Ozonización

En el agua residual el ozono puede perderse en la atmósfera, reaccionar directamente con la materia orgánica y entrar en una serie de reacciones con radicales. Parte de estas acciones tienen como efecto desinfectar el agua. Actúa principalmente contra virus y bacterias.

Al mismo tiempo reduce los olores, no genera sólidos disueltos adicionales, no es afectado por el pH y aumenta la oxigenación de los efluentes. Se genera in situ mediante equipos comerciales. Si el contenido en materia orgánica es elevado, se requieren dosis comparativamente elevadas para obtener una buena desinfección.

Dióxido de cloro

Se considera como una de las mejores alternativas a la cloración convencional. Es un oxidante efectivo que se emplea en aguas con fenoles y elimina los problemas de olores. Al mismo tiempo tiene el inconveniente que oxida un gran número de compuestos e iones, como hierro, manganeso, nitritos. No reacciona con el amonio ni con el bromo. Se tiene que generar *in situ* debido a su inestabilidad y no genera subproductos en cantidad apreciable. Se considera un buen biocida y afecta también a las algas.

Radiación ultravioleta

Se basa en la acción de una parte del espectro electromagnético sobre ácidos nucleicos y proteínas, con lo que se altera la reproducción de determinados patógenos. Se emplea la radiación a 253,7 nm, que se considera la más adecuada para el proceso. Es activo especialmente contra bacterias y virus y se describe con lámparas de media intensidad una acción contra *Giardia* y *Cryptosporidium*.

Se emplean lámparas de alta, media y baja presión. Hasta el momento las más utilizadas en desinfección de aguas residuales son las de baja presión. Es importante que el efluente a desinfectar tenga pocos sólidos en suspensión. Uno de los problemas más importantes de esta tecnología es la limpieza de las lámparas.

2 - ENERGÍA SOLAR

Introducción

Entre las diversas fuentes de energías renovables, la radiación solar es la principal y la más abundante. Históricamente, en el mundo, el Sol ha sido una de las principales fuentes de energía utilizada por los hombres para producir calor, sea de una manera directa, indirecta, natural o artificial, es la denominada **energía solar térmica**.

Más recientemente, a partir de los programas espaciales de los años cincuenta, se ha desarrollado otra tecnología de aprovechamiento solar: la **energía solar fotovoltaica**, que transforma la radiación solar en electricidad.

Otra forma de aprovechamiento es la posibilidad de hacer uso de la iluminación natural y las condiciones climatológicas en la construcción de viviendas y edificios: lo que se denomina **arquitectura bioclimática**.

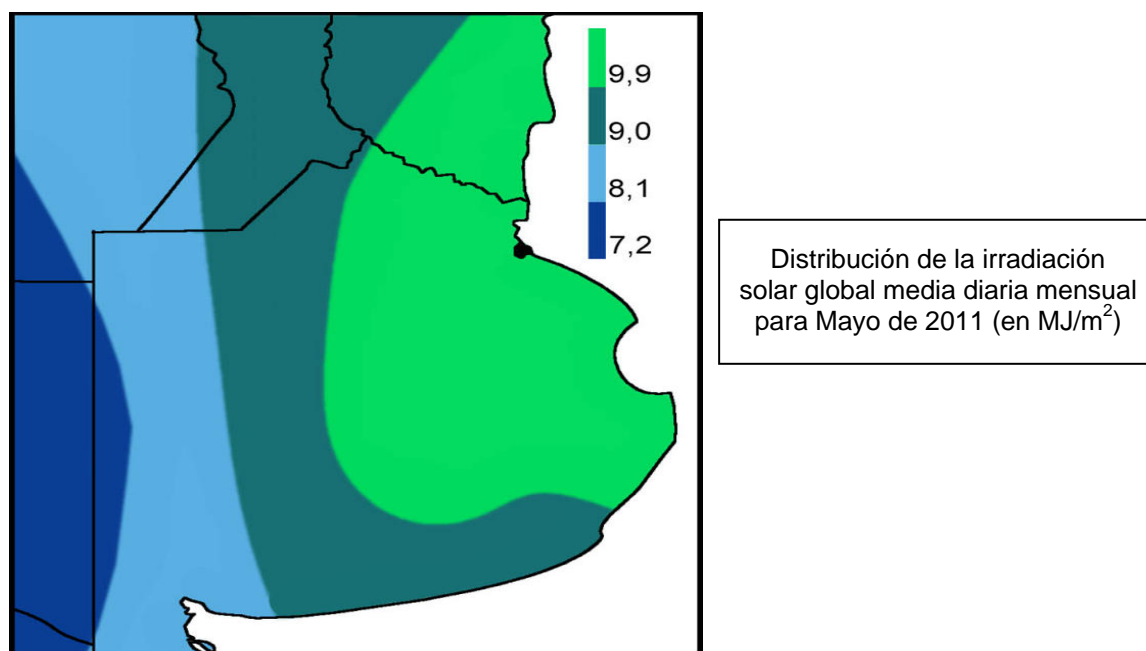
El sol

Nuestro planeta recibe del Sol una cantidad de energía anual de aprovechamiento de $5,4 \times 10^{24}$ Jouls, cifra que representa 4.500 veces la energía que se consume. Incluso con su abundancia, el aprovechamiento de la radiación solar está condicionado principalmente por tres aspectos: la intensidad de radiación recibida por la Tierra (cantidad de energía por unidad de tiempo y superficie), los ciclos diarios y anuales (día y noche, y estaciones del año) a los que está sometida, y las condiciones climáticas (horas de sol anuales) de cada emplazamiento.

En general, el término “radiación solar” hace referencia a los valores de irradiación global, es decir, la cantidad de energía recibida por unidad de superficie en un tiempo determinado (medida en W/m^2). Estos valores, normalmente, hacen referencia a la energía que proviene directamente del disco solar (radiación directa) y a la energía que, difundida por la atmósfera, proviene del resto del cielo (radiación difusa).

Las pérdidas en la atmósfera por reflexión, absorción y dispersión reducen el valor de la radiación solar que llega a la Tierra en un 30%.

Así, la intensidad de radiación que se recibe en la superficie de la Tierra se sitúa alrededor de 1.000 W/m^2 , siendo las condiciones climatológicas las que condicionan los valores de radiación finalmente recibidos.



Procesos de conversión

Como habíamos dicho el aprovechamiento de la energía solar requiere de la utilización de dispositivos o tecnologías que capten la energía proveniente del sol y la transformen en otra forma de energía compatible con la demanda que se pretende satisfacer.

Podemos hablar de dos tipos de aprovechamiento de la energía solar: el que se utiliza para producir energía térmica (básicamente, agua caliente sanitaria y calefacción), y el que convierte la radiación solar en electricidad mediante la denominada tecnología fotovoltaica.

Finalmente, hay que considerar también la posibilidad de hacer un uso más global de la radiación solar en la construcción de edificios. Recibe el nombre de arquitectura bioclimática, y tiene en cuenta la luz natural y las condiciones climatológicas de cada emplazamiento para la construcción de nuevas viviendas.

La energía solar térmica

La tecnología solar térmica convierte la energía radiativa en calor. Su principal componente es el captador, por el cual circula un fluido que absorbe la energía radiada del sol. Además poseen un sistema de almacenamiento de la energía térmica obtenida (el depósito acumulador) y un sistema de distribución del calor y del consumo.

De acuerdo a la temperatura de aprovechamiento se puede clasificar el aprovechamiento en de alta, media y baja, siendo sus límites:

*Hasta 100° C: de baja temperatura;

*Desde 100° C y hasta 300° C: de mediana temperatura;

*Mayores a 300° C: de alta temperatura.

Los sistemas solares térmicos de alta temperatura hacen referencia a grandes instalaciones donde el principal elemento es una torre paraboloide, o un campo de helióstatos que concentran la radiación solar en una torre central, que puede alcanzar temperaturas superiores a los 4000° C; normalmente se tratan de sistemas con una caldera central de la que se obtiene vapor a alta temperatura para usos térmicos o producción de electricidad.

En cuanto a las aplicaciones de mediana temperatura, normalmente se utilizan colectores parabólicos, los que concentran la radiación solar en un tubo colector encargado de recibir y transmitir el calor, alcanzando valores de temperatura de hasta 300° C.

El principal parámetro que caracteriza la eficiencia de cualquier captador solar es la curva de rendimiento. En general, se define el rendimiento de un captador como la relación entre el flujo energético que llega a la superficie de este y la energía útil que se transmite al fluido; de esta forma, el rendimiento instantáneo de un captador varía en función de la radiación, la temperatura del agua que entra al captador, la temperatura ambiente, la temperatura de la placa y los materiales empleados en la construcción.

El captador solar térmico

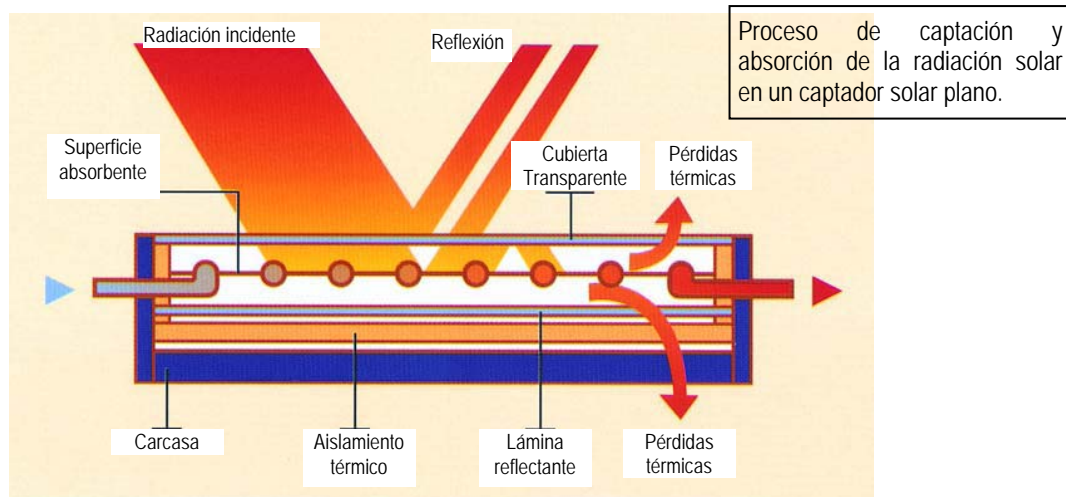
El captador plano de cubierta vidriada es el tipo de captador que, hasta ahora, ha tenido más difusión. Su funcionamiento está basado en el efecto invernadero, es decir, capta la radiación solar en su interior, la transforma en energía térmica y evita la salida al exterior.

Los principales elementos que configuran un captador solar con cubierta vidriada son:

- Cubierta transparente
- Superficie absorbente
- Tubos de circulación
- Material aislante

La radiación solar, al llegar al captador, atraviesa la cubierta transparente e incide en la superficie absorbente, que capta esta radiación y la transmite, en forma de energía térmica, al fluido que circula. Normalmente, este fluido es agua con un líquido anticongelante, aunque también puede ser aire, en los llamados captadores de aire, que normalmente se utilizan para la calefacción.

Como norma general, los captadores se tienen que instalar orientados hacia el ecuador para captar la máxima radiación solar, y su inclinación respecto al plano horizontal tiene que ser igual a la latitud del emplazamiento.



Depósito acumulador

Sirve para acumular la energía en los momentos del día en que es posible, y utilizarla cuando se produce la demanda. En instalaciones pequeñas, es posible incorporar el acumulador en la parte superior del captador: son los equipos llamados termosifones, que aprovechan la circulación del agua por diferencia de temperaturas (convección).

Sistema de distribución del calor y del consumo

Consta de un sistema de control y gestión de las instalaciones, tuberías y conductos, bombas para hacer circular los fluidos, purgadores de aire y diversas válvulas.

Energía Solar Fotovoltáica

La tecnología fotovoltaica busca convertir directamente la radiación solar en electricidad.

Basada en el efecto fotoeléctrico, en el proceso emplea unos dispositivos denominados celdas fotovoltaicas, los cuales son semiconductores sensibles a la luz solar; de manera que cuando se expone a esta, se produce en la celda una circulación de corriente eléctrica entre sus dos caras.

Los componentes de una sistema fotovoltaico dependen del tipo de aplicación que se considera (conectada o no a la red) y de las características de la instalación.

Una instalación fotovoltaica aislada está formada por los equipos destinados a producir, regular, acumular y transformar la energía eléctrica. Y son los siguientes:

Celdas fotovoltaicas: Es dónde se produce la conversión fotovoltaica, las más empleadas son las realizadas con silicio cristalino. La incidencia de la radiación luminosa sobre la celda crea una diferencia de potencial y una corriente aprovechable. Fabricadas a partir del silicio, las celdas fotovoltaicas cobraron auge a partir de los años 50, cuando comenzaron a ser utilizadas para el abastecimiento energético de los satélites.

Paneles o placas fotovoltaicas: Son un conjunto de celdas fotovoltaicas conectadas entre sí, que generan electricidad en corriente continua. Para su mejor

aprovechamiento se busca orientarlas (teniendo en cuenta la ubicación y latitud) con el fin de obtener un mayor rendimiento.

Regulador de carga: Tiene por función proteger a la batería contra las sobrecargas y contra las descargas. Además se emplea para proteger a las cargas en condiciones extremas de operación, y para proporcionar información al usuario.

Baterías: Son el almacén de la energía eléctrica generada. En este tipo de aplicaciones normalmente se utilizan baterías estacionarias, las que tienen como característica de operación más importante al ciclado; durante un ciclo diario, la batería se carga durante el día y se descarga durante la noche; sobrepuesto al ciclado diario hay un ciclo estacional, que está asociado a períodos de reducida disponibilidad de radiación.

Ondulador o Inversor: Transforma la corriente continua (de 12, 24 o 48 Voltios) generada por las placas fotovoltaicas y acumulada en las baterías a corriente alterna (a 230 V y 50 Hz).

El dimensionamiento de una instalación aislada requiere disponer de información relativa al consumo previsto de energía del lugar que se ha de electrificar y de la disponibilidad media de radiación solar a lo largo del año.

Debido a los costos que actualmente maneja esta tecnología se recomienda el uso de aparatos de bajo consumo, el sobre costo que estos a veces pueden tener, se compensa por la reducción en el costo de la instalación fotovoltaica.

Con respecto, a los elementos de los sistemas conectados a la red, los módulos fotovoltaicos son los mismos que se emplean en instalaciones aisladas. Debido a que la energía producida va directamente a la red, la diferencia fundamental de estas instalaciones radica en la ausencia de acumuladores y de regulador de carga. Respecto al tipo de ondulador empleado, normalmente se usan aparatos de mayor potencia que incluyen controles de fases para adecuar la corriente alterna a la que circula por la red.

Aprovechamientos

La tecnología fotovoltaica actualmente ya es competitiva para electrificar emplazamientos alejados de las líneas eléctricas como, por ejemplo, viviendas rurales, bombeo de agua, señalización, alumbrado público, equipos de emergencia, etcétera.

Sus principales ventajas son:

- Evitar un costoso mantenimiento de líneas eléctricas en zonas de difícil acceso
- Eliminar los costos ecológicos y estéticos de la instalación de líneas en esas condiciones
- Contribuir a evitar el despoblamiento progresivo de determinadas zonas
- Es una energía descentralizada que puede ser captada y utilizada en todo el territorio
- Una vez instalada tiene un costo energético nulo
- Mantenimiento y riesgo de avería muy bajo
- Tipo de instalación fácilmente modulable, con lo que se puede aumentar o reducir la potencia instalada fácilmente según las necesidades

- No produce contaminación de ningún tipo
- Se trata de una tecnología en rápido desarrollo que tiende a reducir el costo y aumentar el rendimiento.

Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en dos grandes grupos de acuerdo a si están conectados a la red o no.

Los que no están conectados a la red suelen cubrir pequeños consumos eléctricos en el mismo lugar en el que se produce la demanda, por ejemplo para electrificación de hogares alejados de la red eléctrica, alumbrado público, aplicaciones agrícola – ganaderas, señalización y comunicaciones, sistemas de depuración de aguas; a diferencia de estos, los sistemas conectados a la red se ubican en forma de centrales fotovoltaicas o en sistemas integrados en edificios.

La energía solar térmica de acuerdo a la temperatura del aprovechamiento devendrá en distintos usos finales ya sea como calefacción, secado, destilación de agua, cocción de alimentos; su empleo abarca todos los sectores tanto doméstico como industrial.

Las aplicaciones a baja temperatura se emplean principalmente para la obtención de agua caliente para uso sanitario o para calefacción de recintos. Estas aplicaciones se pueden clasificar en función del fluido que calientan los captadores (agua o aire), o bien en función del tipo de captador empleado. Estos generalmente suelen emplear agua y se suelen clasificar en captadores planos vitrificados (con y sin cubierta) y los captadores de techo.



La arquitectura bioclimática, también denominada **arquitectura solar pasiva**, hace referencia a las formas en que la energía solar se capta, se almacena y se distribuye en la estructura, se trata en definitiva del diseño y aporte de soluciones constructivas que permitan que un determinado edificio capte o refleje la energía solar según la época del año a fin de reducir las necesidades de calefacción, refrigeración o iluminación.

Los principales elementos que combina la arquitectura bioclimática son conceptos relativos a:

- El entorno climático;
- La forma, orientación y distribución de los edificios;
- Los techos, el aislamiento y la inercia térmica.

Energía Solar en Argentina

Argentina posee un elevado porcentaje de electrificación (98%), pero una proporción de su población rural carece de servicio eléctrico.

El Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER) está destinado a mejorar la calidad de vida de los pobladores rurales y disminuir su emigración hacia zonas urbanas, a través del manejo sustentable de recursos energéticos ambientalmente sanos, proveyendo electricidad y calor a instituciones y habitantes fuera del alcance de los centros de distribución de energía.

El PERMER ha permitido, (datos de julio 2011) el suministro eléctrico mediante energías renovables a 6060 viviendas, 1382, escuelas y 211 servicios públicos (salas de emergencia médica, destacamentos policiales y de gendarmería, etc). En proceso de instalación se hallan, además, 522 sistemas en escuelas, 15738 en viviendas. Otros aspectos del proyecto involucran la instalación de cocinas, hornos y calefones solares, además de sistemas de generación híbridos (solares- diesel, eólico-diesel, hidro-diesel, etc.), eólicos, solares, mediante micro turbinas hidráulicas o diesel y de sus instalaciones de distribución de energía, en pequeñas localidades rurales alejadas de la red eléctrica convencional.



Bibliografía:

- *Rol del reúso de aguas Residuales en la gestión de los recursos hídricos* – Ing. Javier Pozzi
- *Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. - Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua.
- *El uso de Aguas Servidas*. Ing. Marcelo Juanico
- *SECRETARÍA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN: Contenidos didácticos*.
- *El recorrido de la Energía: “Energía solar”* (Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid)