

## Uso de aguas de segunda calidad en ciclo urbano del agua para las condiciones cubanas

Carlos M. López-Vázquez. Dpto. de Aguas Sanitarias Urbanas. UNESCO-IHE, Delft, Holanda.  
email: [c.lopezvazquez@unesco-ihe.nl](mailto:c.lopezvazquez@unesco-ihe.nl)

Damir Brjanovic. Dpto. de Aguas Sanitarias Urbanas. UNESCO-IHE, Delft, Holanda.  
email: [d.brjanovic@unesco-ihe.nl](mailto:d.brjanovic@unesco-ihe.nl)

Christine M. Hooijmans. Dpto. de Recursos Ambientales. UNESCO-IHE, Delft, Holanda.  
email: [hooijmans@unesco-ihe.nl](mailto:hooijmans@unesco-ihe.nl)

Orestes A. González Díaz. Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae).  
email: [orestes@cih.cujae.edu.cu](mailto:orestes@cih.cujae.edu.cu)

### RESUMEN

La escasez de agua se ha convertido en un problema acuciante en muchas ciudades costeras alrededor del mundo. La rápida urbanización, los problemas derivados del cambio climático, las soluciones tradicionales (trasvases, perforación de pozos, captación de la lluvia) y avanzadas (desalación) son insuficientes, de altos costos y no sustentables desde el punto de vista ambiental para satisfacer la creciente demanda de agua. Tecnologías como el uso de agua de mar para descarga de inodoros y otros usos, se están volviendo a retomar a pesar de los problemas que se han planteado en su contra, como son la corrosión de las instalaciones y la necesidad de un sistema de abasto dual. El uso de estas técnicas está cambiando los paradigmas existentes en el manejo de las aguas en el ambiente urbano.

**Palabras clave:** agua salada, ambientes urbanos, manejo de los recursos hidráulicos, sostenibilidad.

## Use of secondary quality water for urban sanitation in Cuban conditions

### ABSTRACT

Water shortage is increasingly becoming a problem in many coastal cities in both low and high-income countries (with about 60% of world population). Due to rapid urbanization and climate change, traditional (fresh water transfer, rainwater harvesting) and advanced solutions (sea water desalination) become insufficient, non cost-effective and environmentally unsustainable to match the ever growing water demand. Direct use of seawater for toilet flushing, and other non-potable uses, is often forgotten, easily rejected and traditionally perceived as troublesome due to corrosion issues and the requirement for a dual system. However, the benefits are often overlooked and, in general, not well-studied and documented despite its potential and as a means towards sustainable water cycle management, opening a new paradigm towards the use of saline water as secondary quality water in urban environments.

**Keywords:** saline water, sustainability, urban environments, water resources management.

## **INTRODUCCIÓN**

El llamado estrés hídrico, que se define como el consumo que supera el 10% del agua dulce renovable, ya afecta a la tercera parte de la población mundial. De continuar con el ritmo actual, dos de cada tres personas, en los próximos 25 años, tendrán dificultades para proveerse de agua en cantidades y con la calidad suficiente. Es ya una realidad que la disminución de los recursos mundiales del agua dulce es un problema dominante durante en este siglo (CIH-UNESCO-IHE (2010).

## **SITUACIÓN PROBLÉMICA**

La República de Cuba es un archipiélago formado por la Isla de Cuba, la Isla de la Juventud y unas 1600 isletas. Está situada en el Mar Caribe a la entrada del Golfo de México y constituye la porción más occidental de las Antillas Mayores. La superficie total es de 110 860 km<sup>2</sup>.

Debido a su situación geográfica, topografía y carácter insular, Cuba es particularmente vulnerable a los efectos del cambio climático donde la escasez de agua es uno de los factores más importantes que afectan y limitan el acceso de la población a un agua segura y a un suministro continuo, arriesgándose no sólo las necesidades humanas básicas (como una higiene apropiada), las actividades económicas (el turismo) sino también el sector de producción de alimentos (como la agroindustria y la agricultura considerados entre los mayores consumidores).

Como consecuencia de la escasez de agua y a pesar de que el 93% de la población está servida por fuentes de agua potable (98% en las áreas urbanas y 82% en las regiones rurales), el tiempo y acceso al servicio son variables y por consiguiente el 79% de la población tiene acceso a un suministro de agua intermitente (con un promedio de 12 horas por día) lo cual no cumple con las normas correspondientes para el uso y el consumo humano directo.

Especial atención merece la red de suministro de agua obsoleta (80% de los conductos principales de distribución tienen más de 40 años). Así, mientras la dotación media en Cuba se estima en aproximadamente 604 litros por persona y día, alrededor del 55% se pierde por fugas en el sistema de distribución. En el sector del turismo, una actividad económica importante en la última década, un consumo de agua de hasta 1000 L/día por turista es aplicado en la práctica.

Además, las reducidas precipitaciones y la limitada capacidad de almacenamiento de agua (como consecuencia de los rasgos topográficos de la isla) hacen los recursos de agua de Cuba susceptibles a la intrusión salina, un problema creciente debido a la sobreexplotación de las fuentes de agua subterránea (CIH-UNESCO-IHE (2010).

Por otro lado, el tratamiento de las aguas residuales está bastante limitado en Cuba; mientras la captación de las aguas residuales alcanza el 98%, sólo 19% de las aguas residuales generadas recibe cierto grado de tratamiento siendo descargadas directamente en cuerpos de agua superficiales afectando severamente los recursos de agua frescos primarios (por ejemplo la potencial interacción hidráulica entre el río Almendares y el acuífero de Vento que sirven como una conexión hidráulica potencial para el suministro primario de la Ciudad de La Habana) (CIH-UNESCO-IHE (2010).

En conjunto, los problemas de escasez de agua en Cuba están severamente afectados por:

- La falta de fuentes de agua alternativas con la cantidad y la calidad adecuadas para satisfacer la demanda creciente para el consumo humano y las actividades productivas.
- La red de suministro de agua obsoleta e ineficaz.
- Falta de sistemas de tratamiento apropiado para las aguas residuales que limitan cualquier posible reuso.

Todas las acciones que se tomen con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua en Cuba van a estar dirigidas hacia tres grupos o sectores.

- El sector urbano.
- El turismo.
- Tratamiento de las aguas residuales municipales e industriales. Reuso agrícola.

Los grupos-objetivo mencionados pertenecen a los sectores cubanos estratégicos con un impacto importante en la población cubana y las actividades productivas. Así, los beneficios potenciales alcanzarán un amplio número de las personas comprendidas entre:

- La población urbana,
- La población rural (los agricultores)
- El sector de la industria alimentaria.
- El sector del turismo.

Para lograr que todos estos grupos de personas disfruten de tales beneficios hay que asegurar la continuidad de las actividades apuntando a reducir la demanda de agua y cubrir la escasez de esta, para lo cual es necesario implementar tecnologías y prácticas innovadoras en el manejo del agua (CIH-UNESCO-IHE (2010)).

## **PRÁCTICAS INNOVADORAS**

Las enormes reservas de agua de mar y aguas salobres de distintas procedencias, al mismo tiempo que las dificultades existentes ya en muchos países ante la escasez de agua dulce, han obligado a tomar en consideración las posibilidades de su uso. Actualmente existe un creciente interés por la realización de estudios y proyectos referentes al empleo de agua salada en sustitución del agua dulce.

Las aguas salinas (de mar y salobre) poseen el 96% de las reservas de agua del mundo, siendo sólo el 4 % la correspondiente a agua fresca, de la cual sólo el 0.08% puede ser alcanzable y utilizable. Sólo una pequeña cantidad de esta agua se usa para el consumo humano (2-3 litros de un consumo de agua de 600 a 1000 litros por persona por día en los ambientes urbanos cubanos), el resto se usa para la conducción de los albañales (por ejemplo las excretas).

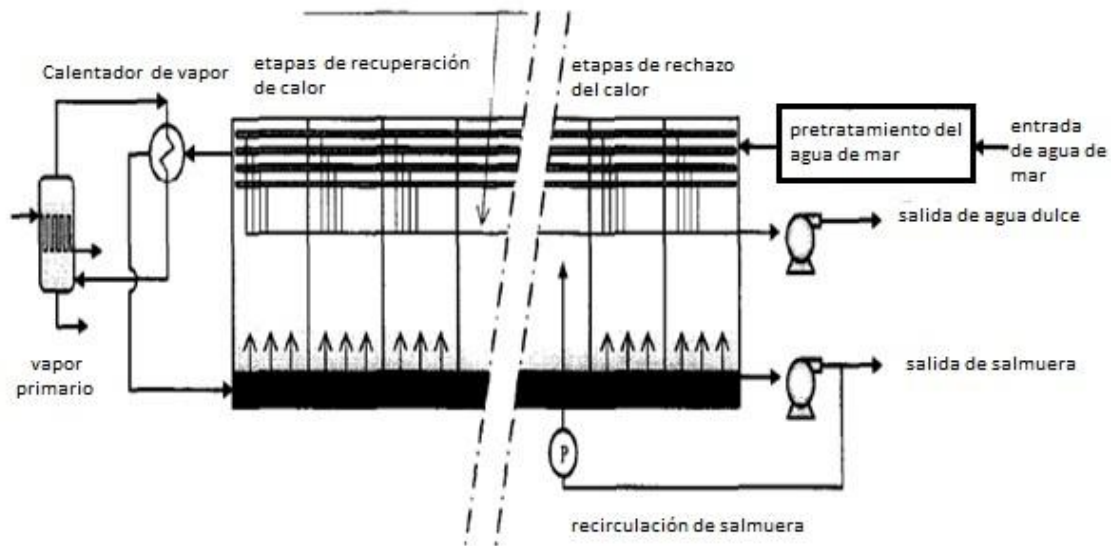
El uso directo de agua de mar o salobre para la descarga del retrete, y otros usos, puede llevar a un uso de agua más eficaz reduciendo la demanda para el agua potable. El pionero en la demostración innovadora del uso de agua de mar en la higienización urbana es Hong Kong (CIH-UNESCO-IHE (2010)).

## Sistemas de tratamiento para el agua de mar

A continuación se presentan, de forma resumida, las diferentes técnicas usadas para la desalación de agua de mar y sus costos asociados.

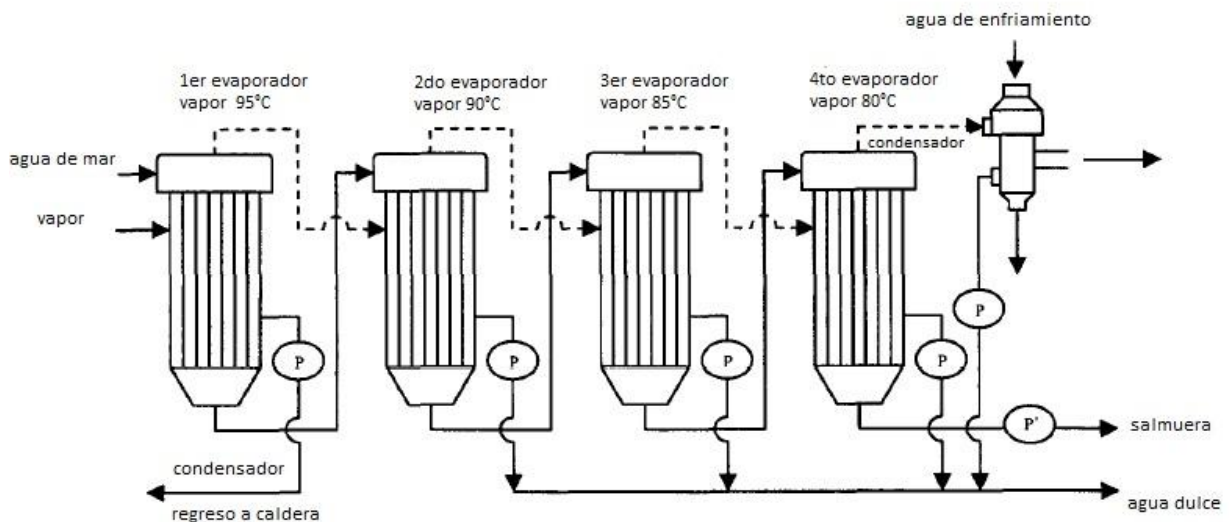
### Procesos térmicos

- Destilación rápida de varias etapas (MSF). Abarca el 4 % del total de la desalación a nivel mundial. En la figura 1 se muestra un esquema del flujo tecnológico de esta técnica.



**Figura 1. Principio de funcionamiento del MSF**  
(fuente: Van der Bruggen and Vandecasteele 2002)

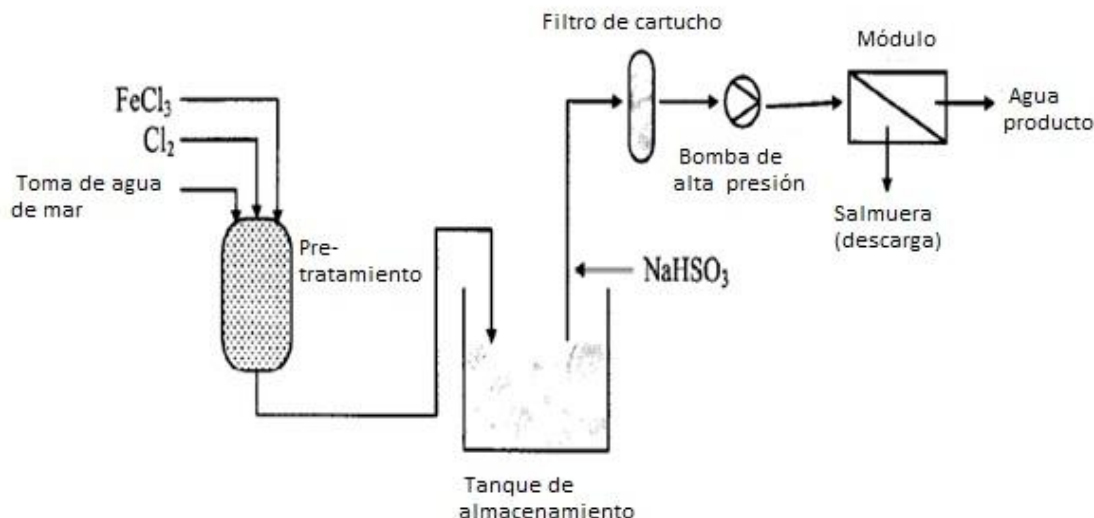
- Destilación de efecto múltiple (MED). Abarca el 44 % del total de la desalación a nivel mundial. En la figura 2 se muestra un esquema del flujo tecnológico de esta técnica.



**Figura 2. Principio de funcionamiento del MED**  
(fuente: Van der Bruggen and Vandecasteele 2002)

### Procesos de membrana

Aquí la ósmosis inversa (RO) ha despuntado como la tecnología más adecuada desde el punto de vista de los costos asociados al proceso. Abarca el 42 % del total de la desalación a nivel mundial. En la figura 3 se muestra un esquema del flujo tecnológico de esta técnica.



**Figura 3. Principio de funcionamiento del MED**

(fuente: Van der Bruggen and Vandecasteele 2002)

### ALTOS COSTOS ENERGÉTICOS Y DE OPERACIÓN

La desalación de agua de mar y salobre es un proceso de uso intensivo de la energía en cualquiera de sus modalidades. Este uso se ha estimado entre 1,8-2,0, 2,0-3,5 y 3,5-4 kWh/m<sup>3</sup> para MED, MSF, y RO respectivamente (IWACO 2000). Recientes trabajos de investigación se han llevado a cabo para reducir estos requerimientos energéticos y de operación brindando los siguientes valores de costo: 0,76-1,56 euro/m<sup>3</sup> y 0,42-0,81 euro/m<sup>3</sup> para plantas medianas y grandes, para sistemas usando MED (12000-55000 m<sup>3</sup>/día) y sistemas MSF (23000-528000 m<sup>3</sup>/día) respectivamente (Karagiannis and Soldatos 2008).

Por su parte, para sistemas de mediana capacidad usando RO (15000 a 60000 m<sup>3</sup>/día), se han obtenido costos tan bajos como 0,38-1,30 euro/m<sup>3</sup> cuando se trata agua de mar y entre 0,21-0,43/m<sup>3</sup> para agua salobre (Karagiannis and Soldatos 2008). Otras tecnologías como la destilación, la congelación y la evaporación solar han sido vistas como técnicas prometedoras, pero desafortunadamente no han tenido los éxitos comerciales de MSF, MD y RO debido a elevados costos de operación (Mathioulakis et al. 2007) o como en el caso de la desalación por energía solar por la gran área requerida (Khawaji et al. 2008). De acuerdo con reportes internacionales el mercado de la desalación mueve anualmente alrededor de 35 mil millones de dólares (USD) y promete duplicarse en los próximos 15 años (SEMIDE/EMWIS 2009).

A pesar de la reducción de los costos, la desalación sigue siendo una opción cara e ineficiente si se compara con los costos asociados al tratamiento para potabilizar aguas superficiales, los cuales han sido estimados en 0,18 euro/m<sup>3</sup> (Costa and de Pinho 2006).

## USO DE AGUA DE MAR COMO AGUA DE SEGUNDA CALIDAD EN EL CICLO URBANO DEL AGUA

La problemática planteada anteriormente hace que se valore la posibilidad del uso de agua de mar de forma directa en actividades domésticas que no incluyan el contacto directo (baño, cocción de alimentos, etc.).

La tabla 1 (Moreno 2004) muestra la distribución de consumos dentro de una vivienda, resaltándose el alto tanto por ciento que en todos los casos y de acuerdo a la fuente se usa para su uso en aspectos sanitarios.

**Tabla 1. Distribución del consumo de agua en hogares**

Fuente: Acuña y León, 2001 citado por Moreno (2004)	Fuente: Agua de Hermosillo, 2002 citado por Moreno (2004)	Fuente: Woodwell, 1995 citado por Moreno (2004)
30% baño	40% regaderas	28% sanitarios
26% sanitario	30% sanitarios	21% regaderas
8% lavamanos	15% lavadoras	5% lavamanos
20% lavadora	6% lavado de trastes	22% lavadora
5% cooler	5% beber y cocinar	12% grifos
8% lavatrastes	4% otros aspectos	9% baños
3% riego de plantas		3% lavavajillas

Si se tiene en cuenta que un ser humano consume directamente 2 o 3 litros de agua por día, esto da una medida de que una considerable porción del agua potable de alta calidad que usamos (30-40 litros/persona/día para la descarga de inodoros) es usada para el acarreo de los residuales producidos (López-Vázquez et al. 2010). Si sólo en la actividad de descargar los inodoros se usara el agua de mar en las zonas donde los análisis beneficio-coste-efecto lo permitieran se ahorraría una cantidad considerable del agua potable fresca y de alta calidad.

### Ventajas:

- En la descarga de inodoros no hay contacto directo del agua con el ser humano.
- El agua de mar es fácilmente accesible para las zonas costeras y su volumen puede considerarse infinito.
- Problemas asociados a la corrosión, así como al tratamiento de las aguas residuales producidas están siendo estudiados y ya existen soluciones factibles.

### Desventajas:

- Problemas de corrosión.
- Necesidad de una red dual para el abasto a las instalaciones.
- Cambios que deben operarse en las concepciones actuales de abasto y saneamiento.

## EL CASO CUBANO

Como se ha comentado anteriormente, la variabilidad de las precipitaciones, unido a la elevada cantidad de fugas en las redes, hacen que el caso cubano sea elegible para realizar estudios sobre el uso de aguas de segunda calidad en la descarga de inodoros.

La tabla 2 muestra la distribución de la población cubana por provincias en ciudades costeras.

**Tabla 2. Distribución de la población cubana en las principales zonas costeras**

#	Nombre	Adm.	Censo 2010
1	La Habana	HAB	2 135 498
2	Santiago de Cuba	SAN	425 851
3	Guantánamo	GUA	207 857
4	Cienfuegos	CIE	144 207
5	Matanzas	MAT	132 665
6	Población total en las principales zonas costeras		3 046 078

Población total en zonas costeras considerando el resto de las ciudades: 3 631 377 habitantes (32,3% del total) más 1 millón de turistas/año (cifra conservadora) que utiliza el turismo de playa.

En la figura 4 pueden observarse las potencialidades para el uso de esta tecnología en el sector turístico.



**Figura 4. Mapa turístico de Cuba, los íconos destacan zonas con potencial.**

### Consideración final

Aceptando que se pueda aplicar esta tecnología en el 20% de la población descrita (926 275 habitantes) y tomando una dotación de 30 lppd para la descarga de inodoros (5 descargas diarias/persona), esto brindará un ahorro diario de 27 788 262 litros, equivalentes a 27 798 m<sup>3</sup>/día o 10 142 716 m<sup>3</sup> en un año, lo cual equivale al consumo de una población de 185 255 habitantes o el equivalente al abasto de 27 798 habitaciones en instalaciones turísticas (5 estrellas).

## CONCLUSIONES

- Como se puede observar las tecnologías más avanzadas para la desalación de agua son particularmente caras, (especialmente para países de bajos ingresos), no sustentables a mediano y largo plazo debido a las emisiones y a la disposición final del rechazo e ineficientes si se tiene en cuenta que sólo se obtiene entre un 10 y un 30% de agua desalada en dependencia de la tecnología utilizada.
- El agua de mar y salobre es fácilmente asequible para las ciudades costeras y un recurso prácticamente infinito.
- Las prácticas clásicas del uso de agua potable para la descarga de inodoros pueden considerarse no sostenibles.
- Teniendo en cuenta los serios problemas que se están derivando de los efectos del cambio climático, en particular las sequías cíclicas, y por ende la vulnerabilidad del abasto de agua y el saneamiento a todas las escalas poblacionales se hace necesario el estudio e implementación a nivel piloto de tecnologías innovadoras para el manejo del agua en el ciclo urbano del agua.
- Disminuyendo la demanda de agua potable mediante el uso de técnicas alternativas, alentando el ahorro y el reuso de las aguas residuales se contribuirá a aumentar la disponibilidad de agua fresca.

## REFERENCIAS

- CIH-UNESCO-IHE** (2010). "Adaptación al cambio climático y mitigación de la escasez de agua mediante el uso de técnicas novedosas de manejo de aguas en zonas urbanas". Proyecto presentado a la Unión Europea (inédito): EuropeAid/129886/L/ACT/CU DCI-ENV), Bélgica.
- Costa A. R. and de Pinho M. N.** (2006). "Performance and cost estimation of nanofiltration for surface water treatment in drinking water production". *Desalination Journal*, Elsevier, Amsterdam, 196, 55-65.
- IWACO** (2000). "Desalination techniques: state of the art and current developments. A challenging alternative for water supply in the 21st century". Technical-economic opportunity study. International Workshop on Aliasing Confinement and Ownership. Rotterdam, The Netherlands, September.
- Karagiannis I. C. and Soldatos P. G.** (2008). "Water desalination cost literature: review and assessment". *Desalination Journal*, Elsevier, Amsterdam, 223:448-456.
- Khawaji A. D., Kutubkhanah I. K. and Wie J-M.** (2008). "Advances in seawater desalination technologies". *Desalination Journal*, Elsevier, Amsterdam, 221:47-69.



**López-Vázquez C. M., Hooijmans, C. M., Guang-Hao C., van Loosdrecht M. C. and Brdjanovic D.** (2010). "Use of saline water in sanitation: change of paradigm in water resources management in urban environments". La Gestión Integrada del Recurso Hídrico Frente al Cambio Climático, 1st Development Congress, November 15th-19th. Mexico, City, Mexico.

**Mathioulakis E., Belessiotis V. and Delyannis E.** (2007). "Desalination by using alternative energy: review and state-of-the-art". Desalination Journal, Elsevier, Amsterdam, 203:346-365.

**Moreno, J.L.** (2004). "Adaptación al cambio climático: un programa de cultura del agua en Hermosillo". México.D.F. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/climático/download/jlmoreno.pdf>. Consultado: Julio 2012.

**SEMIDE/EMWIS** (2009) "Facts and figures about water and salinization/desalination". Euro-Mediterranean information system on know-how in the water sector. International portal. UNESCO water portal. September 5<sup>th</sup>.

**Van der Bruggen B. and Vandecasteele C.** (2002). "Distillation vs. membrane filtration: overview of process evolutions in seawater desalination". Desalination Journal, Elsevier, Amsterdam, 143:207-218.

#### **SOBRE LOS AUTORES**

1. Carlos M. López-Vázquez es Ingeniero Civil y MSc. (*cum laude*) en ciencias del agua por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del estado de México. En el 2009 se recibió como Dr. en Ciencias en Tecnologías Ambientales (*cum laude*) por la TU-Delft y el instituto UNESCO-IHE. Actualmente trabaja en el Dpto de Ingeniería Ambiental y Tecnología del agua del instituto UNESCO-IHE.
2. Damir Brdjanovic. Profesor Titular de Ingeniería Sanitaria, Dr. en Ciencias Técnicas. Ha desarrollado numerosas investigaciones y proyectos en el campo de la Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Desde octubre del 2011, es el jefe del Dpto de Ingeniería Ambiental y Tecnología del agua del instituto UNESCO-IHE.
3. Christine M. Hooijmans es conferencista en modelación de procesos tecnológicos ambientales en el tratamiento de aguas residuales. Tiene un máster en Ciencias ambientales por la Universidad Agrícola de Wageningen, y un doctorado en tecnologías de bioprocesos por la TU-Delft. Trabaja en el IHE desde 1991. Actualmente pertenece al Dpto de Ingeniería Ambiental y Tecnología del agua del instituto UNESCO-IHE.
4. Orestes A. González Díaz. Profesor Titular, Dr. En Ciencias Técnicas por la CUJAE (2000), Máster en Saneamiento Ambiental (1996) por la CUJAE, Diplomado en el IHE-Delft, Holanda en el año 1994. Actualmente imparte cursos y participa en investigaciones en temas de ingeniería sanitaria y ambiental en el Centro de Investigaciones Hidráulicas de la CUJAE.