



GESTIÓN DE LA DEMANDA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y SOBREEXPLORACIÓN DE ACUÍFEROS: EL CASO DE LA HABANA, CUBA

MANAGING WATER RESOURCES DEMAND: THE CASE OF LA HABANA, CUBA

D.L.F. MOLERIO LEÓN*

Inversiones GAMMA, S.A. (La Habana, Cuba)

*E-mail: especialistaprincipal@gmail.com

Palabras clave: Resumen

acuífero La Gestión de la Demanda se define como un enfoque estratégico que busca optimizar el uso del recurso hídrico mediante
demanda la regulación, planificación y control de las necesidades de agua, priorizando la eficiencia, equidad y sostenibilidad. A
gestión diferencia de la gestión tradicional centrada en aumentar la oferta (construir más infraestructuras: pozos, embalses,
sobreexplotación canales), esta estrategia no estructural se orienta a reducir el consumo innecesario, mejorar prácticas y adaptar la demanda
a la disponibilidad real del recurso protegiendo los acuíferos de la explotación intensiva.

Key words: Abstract

aquifer Managing water demand is defined as a strategy oriented to the optimization of water consumption accounting for the
demand regulation, planning and control of water needs prioritizing efficiency, equity and sustainability. Contrary to the traditional
management that focuses the attention in the increase if the water offer by developing more infrastructure (wells, dams,
overexploitation canals), this non-structural strategy is oriented to reduce unnecessary exploitation, improve practices and adapting the
demand to the actual availability of the resource preventing aquifers from excessive abstractions

Introducción

A fines de la década de 1990, desde el entonces Centro de Hidrología y Calidad de las Aguas del Instituto Nacional de Recursos Hídricos se intentó implementar una iniciativa de cambio en el modelo de aprovechamiento de los recursos hidráulicos subterráneos.

Los avances logrados en aquella década con la introducción de técnicas nucleares en la hidrología subterránea (trazadores ambientales naturales y radioactivos, datación de las aguas, novedosas técnicas geoestadísticas y geomatemáticas de procesamiento de datos, y el sistemático control de la hidrodinámica de los acuíferos derivadas de la potente red de monitoreo hidrogeológico) mostraron tendencias de agotamiento de los recursos hidráulicos subterráneos debidos a la lenta recuperación por sequías recurrentes, incremento de la explotación, aumento

considerable de las pérdidas por conducción y deterioro de la calidad de las aguas.

Algunos resultados sugerían, ya a fines de los 80 y principios de los 90 que ciertos acuíferos podrían estarse minando; es decir, que los volúmenes de extracciones sobrepasaban la capacidad de recuperarlos con la misma rapidez que en años anteriores. Efectivamente, se notaba una sistemática pérdida de la regulación interanual de las aguas subterráneas asociadas a lo que entonces llamamos, con Eduardo Planos en una entrevista para el periódico Trabajadores, en 1995, una inversión del régimen de lluvias de Cuba¹. Sobre el escurrimiento superficial y subterráneo del país comenzaban a manifestarse los efectos -no muy bien comprendidos entonces- del Cambio Climático y de una política inadecuada de explotación (más una falta de control de las extracciones) sobre los cuales se llamaba la atención sistemáticamente.

Recibido: 19 de febrero de 2025

Aceptado: 03 de abril de 2025

¹Concepción, Eloy (1995): Preocupante proceso de inversión del régimen de lluvia en Cuba. Entrevista a Eduardo Planos y Leslie Molerio. Periódico Trabajadores, mayo 29, 1995:4

Conflictos de Intereses: El autor declara no tener ningún conflicto de intereses con respecto a la publicación de este artículo.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Entonces y ahora, el incremento sostenido de la demanda de agua o el déficit de suministro se satisface con una política basada en el aumento de la explotación de las aguas terrestres. Esa política se hace a costa de los acuíferos y privilegia la construcción de nuevas obras de captación o regulación (incluidas más presas y canales), la perforación de más pozos o la profundización de los existentes, se mejoran los equipos de bombeo o se instalan mejores y más modernos (algunos, peligrosamente, con mayores capacidades de extracción que los que se desmontan) y se multiplican los sistemas de almacenamiento, tratamiento y distribución.

Este incremento de las inversiones para el abastecimiento de agua sigue siendo subsidiado por el Estado y las pérdidas y el derroche del recurso, escaso, se mantienen o crecen. Más allá de las medidas estructurales (ingenieras y tecnológicas) que continúan aplicándose evidentemente sin éxito (profundización de pozos, perforación de otros nuevos, construcción de presas y derivadoras) y las no estructurales (pago del pecio justo por el servicio de acueducto y alcantarillado, metrado, reajuste en los sistemas de distribución) se requiere un cambio radical en el modelo de aprovechamiento del agua. A un cambio de paradigma que conduzca pasar de la **gestión del recurso (en la cuenca)** a la **gestión de la demanda (del usuario)**.

En otros términos, no cargar a los acuíferos, a las cuencas, con la escasez, la pérdida de la cantidad o el deterioro de la calidad de las aguas, sino reorientar las inversiones y la explotación a reajustar las dotaciones; esto es, reevaluar las asignaciones de acuerdo con las necesidades reales, eliminar fugas en ruta y almacenamiento, tanto en las instalaciones del acueducto como en las industriales y los domicilios particulares, implementar mantenimientos adecuados... En suma, recuperar el agua ya extraída, tratada, distribuida y no extenuar las fuentes.

Estas ideas, que hoy nuevamente compartimos, fueron resumidas y presentadas al Primer Seminario Latinoamericano de Geografía Física, celebrado en La Habana entre agosto 1 y el 5 del año 2000. Se impone, aún más que hace un cuarto de siglo, la necesidad de trabajar sobre la demanda para garantizar la sostenibilidad de los recursos de aguas terrestres y, particularmente, los subterráneos (Díaz, 2018). Afortunadamente, aunque limitado, este es un concepto de creciente arraigo entre los operadores del recurso (Méndez, 2019).

Tabla 1. Componentes de la gestión de la demanda de los recursos hídricos

Table 1. Components of the water resources demand

Componente genérica	Elementos específicos estructurales y no estructurales
Instrumentos técnicos	Monitoreo de caudales y medición de consumos (contadores) Tecnologías para reducir pérdidas (reparación de fugas, redes inteligentes) Sistemas de reutilización y reciclaje de agua (aguas grises, tratamiento de efluentes)
Mecanismos regulatorios	Tarifas diferenciadas por sectores (como sería penalizar usos excesivos en hoteles o agricultura). Normativas de uso eficiente (implementando restricciones en horarios de riego). Revisión y ajuste de los planes de asignación de agua en épocas de escasez
Educación y participación	Campañas de concienciación para promover hábitos sostenibles Incentivos a usuarios que reduzcan su consumo Involucramiento de comunidades en la toma de decisiones

La Gestión de la Demanda se define como un enfoque estratégico que busca **optimizar el uso del recurso hídrico** mediante la regulación, planificación y control de las necesidades de agua, priorizando la **eficiencia, equidad y sostenibilidad**.

A diferencia de la gestión tradicional centrada en aumentar la oferta (construir más infraestructuras), esta estrategia se orienta a **reducir el consumo innecesario, mejorar prácticas y adaptar la demanda a la disponibilidad real del recurso** y tiene, como objetivos principales:

- Equidad, para garantizar acceso prioritario a usos básicos (consumo humano, salud)
- Sostenibilidad, para evitar la sobreexplotación de acuíferos y ecosistemas
- Resiliencia, que permita adaptarse a fenómenos como sequías o cambio climático

Las componentes clave de la gestión de la demanda de agua se resumen en las **Tablas 1** y **2** y se deben aplicar caso a caso en el sector urbano, la agricultura y la industria.

La gestión de la demanda es fundamental en contextos de estrés hídrico, como en La Habana, donde las pérdidas en redes superan el 50%, o en acuíferos sobreexplotados. Requiere integrar políticas públicas, innovación tecnológica y cambios culturales para equilibrar necesidades humanas y límites ambientales.

El problema del agua

El agua es un recurso finito. Renovable, pero finito. Y en algunos casos, los tiempos de tránsito de las aguas son tan largos, que es un recurso no renovable. Nunca dejará de insistirse lo suficiente en cuán finitos son los recursos hídricos (**Fig. 1**), aunque parezca un problema global menos publicitado que la extinción diaria de especies biológicas o el incremento del agujero de la Capa de Ozono.

El agua es un recurso que compromete seriamente la sustentabilidad del desarrollo. El uso del agua varía desde 10 a 35 litros por día por persona en las áreas rurales del planeta, hasta entre 40 y 300 en áreas con alto estándar de vida. Un buen nivel de abasto se considera cuando la disponibilidad de agua por año per cápita se mueve entre 5000 y 10 000 m³.

Tabla 2. Estrés hídrico en 2025 expresado en millones de personas afectadas

Table 2. Water stress in 2025 expressed in millions of people affected

	Sin estrés	Estrés bajo	Estrés	Estrés alto
América del Norte	30	310	-	-
Europa Occidental	18	180	310	14
Pacífico	-	26	122	-
Ex URSS	15	220	52	20
Europa Oriental	-	65	18	20
África	200	810	400	160
América Latina	15	480	200	-
Oriente Medio	-	45	300	40
China	-	700	1.680	-
Sudeste asiático	-	500	1.685	-

Fuente/Source: Fernández-Jáuregui (2001).

En estos momentos, los recursos hídricos no solamente se han convertido en el factor más limitante para el desarrollo sino, incluso, para la persistencia de ciertas comunidades sociales.

El agua escasea. La de buena calidad, escasea aún más. Ello es consecuencia de una gestión deficiente en el manejo del recurso. A ello debe sumársele el efecto de las variaciones climáticas, la degradación de la tierra y el crecimiento demográfico. El fenómeno de las ciudades sedentarias (Antón, 1995) y de las sequías recurrentes, son noticias cada vez más frecuentes. En 60 años, de 1940 al 2000, el consumo de agua ha aumentado a razón de 100 millones de metros cúbicos por año. Casi el 70% se utilizó en la agricultura. Mil millones de seres humanos, el 20% de la población mundial, carecen de agua potable (Fig. 2).

El agua es motivo de conflictos. Muchos de ellos no se resuelven sino de manera violenta, como en el Cercano Oriente, donde la conservación de la paz pasa por disponer de las fuentes de abasto. Otros, a escala local, son motivos de desajuste social, como en China o Indonesia. Por ello, la gobernabilidad es también, parcialmente, un problema hidráulico (Jáuregui, 2001; Molero, 2003; Eissa, 2006).

El agua es cara. Cada día se encarece más, a pesar de que los precios de tecnologías como la desalinización descienden sostenidamente, los mayores problemas de abastecimiento están donde las economías no son del tipo emergente, aunque de éstas es importante siempre preguntarse cuáles han emergido realmente. África es el mejor ejemplo de ello.

Modelos dominantes y gestión de acuíferos

Hasta el momento, las políticas de gestión de los recursos hídricos se han concentrado en el desarrollo de infraestructuras para satisfacer las necesidades siempre crecientes de agua o de bienes y servicios relacionados con el agua o en la mitigación o reducción de desastres naturales como las sequías e inundaciones. Ha predominado un enfoque fundamentalmente ingeniero para la solución

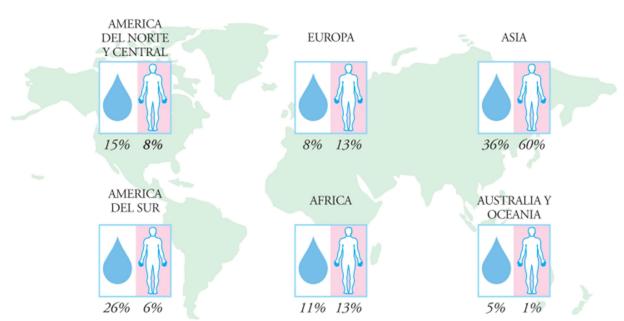


Figura 1. Disponibilidad mundial de agua (Fernández-Jáuregui, 2001)

Figure 1. World water availability (Fernández-Jáuregui, 2001)

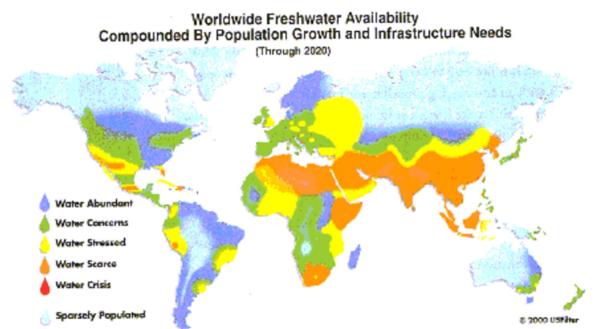


Figura 2. Disponibilidad mundial de agua dulce (Lacquemanne, 2000)

Figure 2. Worldwide freshwater availability (Lacquemanne, 2000)

de los problemas de gestión de los recursos hídricos y no ha existido un equilibrio entre los modelos de desarrollo económico, protección del medio ambiente y explotación de los recursos hídricos.

El estándar dominante de aprovechamiento de la tierra y el agua en América Latina, en particular, se ha caracterizado por la introducción de modelos tecnológicos exógenos que:

a) incrementan el deterioro ambiental, económico y socio-cultural de las comunidades; b) se someten a la transferencia de paquetes tecnológicos o conjuntos de técnicas que no pueden ser eficientes si se les usa separadamente; c) que se incorporan como insumos cada vez más caros respecto a los productos; d) por la ejecución de proyectos como respuesta sectorial a problemas globales; e) la construcción de obras exageradamente grandes; f) el uso ineficiente de las obras hidráulicas; g) la desproporción entre los recursos para la ejecución de las obras respecto a la capacitación, organización y desarrollo de las comunidades y h) la exclusión de los usuarios en el manejo de las obras y la gestión ecohidrológica.

En aquella presentación se le señalaba en el Primer Seminario Latinoamericano de Geografía Física, que esta centuria estará dominada por la gestión de la demanda en preferencia a la gestión ingeniera, a fin de garantizar la sustentabilidad en el desarrollo, la integración sectorial, los arreglos institucionales y el desarrollo de capacidades y la participación pública y privada en el aprovechamiento de los recursos hídricos.

El Modelo de **Gestión de la Demanda** resulta una aproximación sustentable al aprovechamiento de los recursos hídricos. Más allá de Cuba, tres aspectos fundamentales integran el modelo: 1) las restricciones en las pequeñas islas, 2) la escasez de agua en zonas áridas y semiáridas y 3) el incremento en la competencia de recursos hídricos compartidos que es muy crítica en áreas urbanas de gran presión. La Habana, capital del país, es un caso típico de emporio urbano sometido a muy fuertes presiones para el abasto de agua (Dorticós et al., 2012; Molerio Fernández y Planos, 2015). Sin embargo, existen modelos muy eficientes que han permitido reducir la demanda a niveles muy eficientes, como es el caso de Bogotá, capital de Colombia (Rodríguez, 2008).

El modelo de gestión, tanto en las zonas rurales como en las ciudades, requiere de un cambio sustancial de concepción, de estrategia y de acciones para gestionar la demanda de agua, habida cuenta que se afrontan dos tipos: a) la **Demanda Social de Regulación**, que es aquella necesaria para satisfacer los requerimientos de las comunidades y b) la **Demanda Hídrica Natural**, que es aquella orientada a satisfacer las necesidades de los ecosistemas naturales.

Los gestores de los recursos hídricos tienen que asumir los siguientes problemas:

- La escasez de recursos, en particular en y para abastecer las grandes ciudades.
- La degradación del medio ambiente.
- Las limitaciones económicas y financieras.
- Las instituciones burocráticas e inefectivas.

La respuesta al modelo dominante se orienta al:

- Desarrollo de una actitud consecuente de los gestores en la elaboración adecuada de la demanda y la evaluación precisa de la oferta
- Desarrollo de una actitud consciente de los usuarios para la participación responsable en la toma de decisiones respecto al uso, conservación, distribución y manejo del agua
- Rescate del conocimiento antiguo y restablecimiento de los mecanismos de memoria social
- Preservación del equilibrio ecohidrológico como sustento de sistemas productivos estables y no degradantes

El problema en américa latina

La América Latina agraria va dando paso a la América Latina de las megaciudades. Un crecimiento demográfico desmesurado, motivado por una migración sostenida y creciente del campo a la ciudad en busca de mejoras y oportunidades económicas y bienestar social. Migración desproporcionada hacia ciudades carentes de infraestructuras hidráulicas para soportar tal incremento de la demanda.

Inexorablemente, ello conduce al desarrollo de abastecimiento irregulares con agua de menor calidad, al incremento en la explotación de las fuentes, al aumento de la carga de contaminantes por la exagerada evacuación de residuales que, en suma, muchas veces se disponen sin tratamiento apenas muy cerca de las fuentes de abasto.

En alguna medida, el modelo económico rural es responsable de tal migración. Una de las causas por las que puede fallar el modelo económico rural es debido a la aplicación de un modelo tecnológico inadecuado y ahí, en no poca medida, la gestión impropia del recurso agua es responsable del estancamiento y, aún más, del retroceso, del bienestar económico ligado a la tierra.

He aquí que la marginalidad de grandes sectores de la población rural en América Latina y, aún, de la población urbana, sobre todo cuando proviene del campo, puede ser y es, en muchos casos, consecuencia de un fracaso en la gestión de los recursos hídricos.

América Latina cargarán, por igual en el campo y la ciudad, un serio problema de gestión de los recursos hídricos. Hace 40 años, ya el BID y la CEPAL describían así la oferta hídrica y de suelos de la región:

“América Latina y el Caribe poseen alrededor de 300 millones de habitantes. Un 40% vive en asentamientos de más de 20 000 personas. Ahora bien, si se consideran todas las áreas densamente pobladas (más de 25 habitantes por kilómetro cuadrado), vemos que el 66% de la población se encuentra localizada en esta última condición.

Vivimos en un continente que aún tiene poca población en relación con otros, pero con problemas de presión demográfica sobre ciertas zonas. Esta distribución irregular sobre el territorio crea diferentes tipos de problemas en relación con los recursos hídricos de la región..."

Y anotaban:

"Un incremento poblacional muy fuerte, obliga a reordenar y preocuparse oportunamente del problema del agua..."

Solamente 15 años después de aquel informe de CEPAL (1980): "Desarrollo y Medio Ambiente en América Latina", Danilo Antón señalaba que ya a fines de los 80 existían más de 280 ciudades con más de 100 000 habitantes, que reunían a 210 millones de personas, el 46% de la población de la región. Trece ciudades tienen una población superior a los tres millones de personas y, en resumen, la cuarta parte de los latinoamericanos vivimos en ciudades. Hoy son más de 20². Y tales ciudades se han superpoblado en una etapa, además, de fuerte crisis económica coincidente con el período de la Década Perdida.

De manera que se enfrenta un modelo de gestión, tanto en las zonas rurales como en las ciudades, que requiere de un cambio sustancial de concepción, de estrategia y de acciones.

Ajuste de la demanda

Es evidente que una de las medidas más eficientes es la regulación de la demanda mediante un ajuste de las dotaciones. Efectivamente, ajustando por usuario/cliente la necesidad real de caudal permite de inmediato disponer de

más agua, mantener presiones y distribuir el recurso -sobre todo en ciudades- de manera estable.

Cómo enfocar la solución del problema no es objetivo de este artículo, pero exponer el modo en que esta inconsistencia conduce a la sobreexplotación de algunos acuíferos cubanos puede resultar conveniente para contribuir a sustentar la premura de la solución.

La literatura es muy amplia en modelos conceptuales y metodologías de cálculo de la demanda (Billings y Agthe, 1980; Charney et al, 1984; Foster y Beattie, 1979; Foster et al., 1992; Hewitt y Hanneman, 1995; Krishnaiah y Rao, 1998; Nieswiadomy y Molina, 1989; Obregón, 2008; Soto et al., 2012 y Medina y Pérez, 2022). Obregón (2008) describe cuatro modelos para estimar la de agua para uso doméstico (Tabla 3). EPUR INGENIERÍA (2013) propone las dotaciones que se resumen en la Tabla 4.

El concepto de sobreexplotación de las aguas subterráneas

No todos los autores están de acuerdo con el uso del término "sobreexplotación" y algunos incluso prefieren el de "explotación intensiva" (véase Pulido, 1998, para más referencias). Pero, por otro lado, existe un consenso en que salvo condiciones muy excepcionales, la extracción de las aguas subterráneas no puede exceder la tasa de alimentación. Señala este autor que *"la sobreexplotación de un acuífero se puede definir como la extracción del agua del mismo en una cantidad superior a la correspondiente a su alimentación, todo ello referido a un período de tiempo suficientemente largo como para diferenciar las consecuencias similares que tendría períodos anómalamente secos. En consecuencia, el efecto más inmediato de la sobreexplotación sería el descenso continuado de los niveles piezométricos que se acompaña normalmente del agotamiento de las surgencias"*.

Tabla 3. Modelos de estimación de la demanda de agua potable (Obregón, 2008)

Table 3. Models for the estimation of potable water demand (Obregón, 2008)

Tipos	Características
Modelos empíricos	Surgen de las áreas operativas como consecuencia de la rotación de personal de las áreas administrativas. Son sistemas de corto plazo, estimaciones anuales. Su eficiencia depende de la experiencia y el juicio personal de un especialista del organismo. El especialista que la genera debe ser una persona con amplia experiencia en operación de agua. Requiere de la existencia de una base de datos amplia y no necesariamente ordenada en un conjunto. Es de ámbito individual, es decir sólo su desarrollador sabe implementarlo.
Modelos de dotaciones de agua	Surge de la dificultad de obtener información periódica y fiable sobre los volúmenes de agua suministrados y consumidos. Se plantea como una función del número de habitantes y las condiciones de consumo que prevalecen en la zona. Algunos organismos como el Banco Interamericano de Desarrollo y el Banco Mundial, emiten recomendaciones sobre los montos de las dotaciones de agua por habitante al día. Las estimaciones de la demanda de agua se hacen suponiendo que el consumo de agua permanece constante y la demanda se comporta paralelamente al crecimiento poblacional.
Modelos alternativos-experimentales	Aplican técnicas de Inteligencia Artificial y Reconocimiento de Patrones, Sistemas Expertos y Redes Neuronales Artificiales
Modelos económico-estadísticos	Han sido ampliamente desarrollados y estudiados desde los años 70's. Se basan en la teoría económica de la demanda para encontrar los factores que determinan el nivel de consumo de agua por parte de los individuos. $Q_d = C + X_1 \text{ Precio} + X_2 \text{ Ingreso}$ Se apoyan en la estadística para buscar representatividad para la población sujeta al estudio; y significancia del modelo y sus variables. Las formas funcionales que han generado mejores resultados son las logarítmica y la lineal. Los métodos de regresión más exitosos son Mínimos Cuadrados Ordinarios, Generalizados y en dos etapas.

² <https://es.statista.com/estadisticas/1192117>

Tabla 4. Estimados de demanda de agua por rubros socio económicos (EPUR INGENIERÍA, 2013)

Table 4. Estimation of water demand according to socioeconomic needs (EPUR INGENIERÍA, 2013)

Tipo	Demanda	Unidades
Abastecimiento Rural	0,125	m ³ /d
Poblaciones de 3000 habitantes El término que se establece como estándar es de 0,2 m ³ / persona / día	0,12	m ³ /d
Poblaciones entre 3000 y 15000 habitantes	0,2	m ³ /d
Poblaciones entre 15000 y 60000 habitantes	0,22	m ³ /d
Poblaciones superiores a 60000 habitantes	0,25	m ³ /d
Ducha	27,6	Litros/persona
Sanitarios	35,6	Litros/persona
Lavado de manos	6	Litros/persona
Lavado de platos	27,9	Litros/persona
Aseo y vivienda	0,3	Litros / m ² y día
Consumo Propio	6	Litros/persona
Lavado de ropa	45,9	Litros/persona
Hotel	0,5	m ³ /habitación / día
Pensión	0,35	m ³ /habitación / día
Hospedaje	25	litros por m ³ destinado a hospedaje
Restaurantes por m² (En este caso no hay extrapolación de consumo a área)		
Hasta 40	2	m ³ /m ²
Entre 40 y 100	0,04	m ³ /m ²
Más de 100	0,05	m ³ /m ²
Planteles educativos y residencias estudiantiles		
Alumnado externo	0,04	m ³
Alumnado semi - externo	0,07	m ³
Alumnado interno o residente	0,2	m ³
Personal no residente	0,05	m ³
Personal residente	0,2	m ³
Dotación en cines, teatros y otros		
Cines, teatros y auditorios	3	litros / asiento
Cabarets, casinos y salas de baile	30	litros / m ² de área para uso público
Velódromos, circuitos, estaciones, etc.	1	litro / espectador
Circos, parques de atracciones, hipódromos	1	litro / espectador más requerimientos animales
Dotación en bares, fuentes de soda y Cafeterías- Área del local m²		
hasta 30	1,5	m ³ en total
Desde 31 a 60	0,06	m ³
Desde 61 a 100	0,05	m ³
Más de 100	0,04	m ³
Dotación en Piscinas		
Con recirculación de las aguas de rebose	0,01	m ³ / m ² de superficie y día
Sin recirculación de las aguas de rebose	0,03	m ³ / m ² de superficie y día
Flujo continuo de agua	0,125	m ³ por hora
Varias		
Oficinas	0,04 y 0,05	m ³ / persona y día
Dotación en depósitos	0,5	litros / m ² y día
Dotación carnicerías, pescaderías, comercios y similares	20	litros / m / día
Lavaderos de coches		
Lavado no automático	8	m ³ / unidades de lavado y día
Lavado automático	12,8	m ³ / unidades de lavado y día
Oficina y venta de repuestos	0,01	m ³ / unidades de lavado y día

Tipos	Demandas	Unidades
Hospitales, clínicas y consultorios médicos		
Hospitales	0,8	m ³ por cama
Consultorías médicas	0,5	m ³ por consultorio
Clínicas dentales	1	m ³ por unidad dental
Riego de jardines	2	litros/día x m ² . No se incluyen áreas pavimentadas, andenes, etc.
Usos industriales		En muchos procesos industriales se requiere agua potable, esto sucede en todas las industrias dedicadas a la elaboración de comestibles y bebidas. Otros procesos no requieren agua potable tales como el enfriamiento de torres de destilación, motores, tanques de trenes, edificaciones, etc
Industrias en general		
Consumo humano	80	Litros por operario o empleado, por cada turno de 8 horas o fracción.
Consumo industrial		De acuerdo con la naturaleza de la industria y sus procesos de manufactura. (Esta dotación debe ser comprobada por las autoridades sanitarias)
Industrias lácteas y sus anexos		
Estaciones de recibo y enfriamiento	1,5	m ³ por cada 1 m ³ de leche
Plantas de pasteurización	1,5	m ³ por cada 1 m ³ de leche
Fábricas de mantequilla, queso o leche en polvo	1,5	m ³ por cada 1 m ³ de leche
Granjas de animales		
Ganado lechero	0,12	m ³ / día y por animal
Bovinos	0,04	m ³ / día y por animal
Ovinos	0,01	m ³ / día y por animal
Equinos	0,04	m ³ / día y por animal
Aves	0,02	por cada 100 aves
Mataderos		
Bovinos	0,5	m ³ / día y por animal
Porcinos	0,3	m ³ / día y por animal
Ovinos y caprinos	0,25	m ³ / día y por animal
Aves en general	0,016	por cada 100 aves
Lavanderías y similares		
Lavanderías	0,04	m ³ / kg de ropa
Lavanderías en seco, tintorerías y similares	0,03	m ³ / kg de ropa
Agricultura		
Trigo	1500	m ³ / tonelada de producto
Arroz	4000	m ³ / tonelada de producto
Cereales pobres	1000	m ³ / tonelada de producto
Algodón	10000	m ³ / tonelada de producto
Riego por aspersión en régimen continuo	1,5	m ³ h / ha
Industrias agrícolas		
Mantequilla	2 a 4	L/L de leche
Quesería	6 a 10	L/L de leche
Leche en polvo	7 a 17	L/L de leche
Leche de Consumo	7 a 11	L/L de leche
Fabricación de sidra (sin embotellado)	4	m ³ /t de manzana
Lavado de botellas	2 a 6	L/botella
Fabricación de vino	2	L/L de vino
Cervecería (solo fabricación)	20 a 30	m ³ /t de malte
Industrias agrícolas		
Azucarera - Remolacha	2 a 15	m ³ /t de remolacha
Fábrica de levadura	150	m ³ /t de levadura
Fabricación de vinagre	50	L/L de vinagre
Conservas de frutas	12 a 15	m ³ /t de fruta
Conservas de legumbres	6	m ³ /t de legumbres
Conservas de pescado	20	m ³ /t de pescado
Conservas de carne	70	m ³ /t de conserva
Fábrica de fécula	15	m ³ /t de patata
Fabricación de almidón	15 a 20	m ³ /t de maíz

Tipo	Demanda	Unidades
Industrias no agrícolas		
Curtidos	20 a 140	m ³ /t de producto fabricado
Rayón	400 a 1000	m ³ /t de producto fabricado
Productos químicos	220 a 1.000	m ³ /t de producto fabricado
Refinería de petróleo	0,1 a 40	m ³ /t de producto fabricado
Acero	6 a 300	m ³ /t de producto fabricado
Acero laminado	400	m ³ /t de producto fabricado
Pasta de papel	300	m ³ /t de producto fabricado
Embalaje-cartón	40	m ³ /t de producto fabricado
Papeles especiales	500	m ³ /t de producto fabricado
Algodón (según grado de separación)	15 a 200	m ³ /t de producto fabricado
Lana (peinaje-blanqueo)	165	m ³ /t de producto fabricado

Adicionalmente, en opinión del autor opinión, **puede considerarse que un acuífero está sobreexplotado o muy cercano a él, cuando las aguas subterráneas alimentadas por las precipitaciones exhiben sistemáticamente tiempos de tránsito que exceden el tiempo de renovación asociado al ciclo hidrológico actual y que, sin ser aguas fósiles, tienen un largo tiempo de tránsito en el acuífero, superior a los 50 años.**

Un repaso de la literatura básica indica que el propio concepto de sobreexplotación se adopta de diferentes maneras (Bear y Levin, 1967; Bredehoeft, 1997; Burdon, 1977; Collin y Margat, 1993; Custodio, 1989, 1996; Dijon y Custodio; Foster, 1993; Howe, 1987; Margat, 1977, 1992; Margat y Saad, 1982; Llamas, 1992; LaMoreaux y Newton, 1993; Simmers et al., 1993; Sophocleus, 2000; Young, 1970, 1993; Wang, 1992). Algunos autores o consideran permisible en dependencia de las condiciones demandantes del desarrollo socio económico en tanto para otros atenta contra la cantidad y calidad de los recursos de manera muchas veces irreversible.

Custodio (2000) ha señalado que

“Cuando la extracción supera, o se aproxima, a la recarga se puede decir que un acuífero está sobreexplotado, considerando valores medios a largo plazo. Pero la recarga, e incluso la extracción son términos inciertos y que presentan un amplio intervalo de valores.

Asimismo la recarga se puede modificar por actividades humanas y por la propia explotación del acuífero.

En la práctica se dice que hay sobreexplotación cuando se observan o se advierten ciertos resultados negativos de la explotación, tales como un descenso continuado del nivel del agua o un deterioro de la calidad.

Pero estos efectos no están necesariamente relacionados con el hecho de que la extracción sea mayor que la recarga. Pueden ser el resultado del dilatado período transitorio que sigue a los cambios de extracción, y que dependen del almacenamiento de agua en el acuífero, del tamaño del acuífero y de su permeabilidad.

La sobreexplotación se relaciona a menudo también con aspectos negativos de carácter económico, ecológico, social y político. Todo esto hace que no sea posible llegar a una definición precisa y universal de sobreexplotación”.

Y, con mayor precisión (Custodio, 2002):

“...en la práctica se suele considerar que hay sobreexplotación cuando se observan o se perciben ciertos resultados negativos de la explotación, tales como un descenso continuado del nivel del agua, un deterioro de su calidad, un encarecimiento del agua extraída, o daños ecológicos. Pero estos efectos no están necesariamente relacionados con el hecho de que la extracción sea mayor que la recarga, puesto que pueden ser simplemente el resultado de interferencias o del dilatado período transitorio que sigue a los cambios en los términos del balance de agua, y cuya duración depende del tamaño del acuífero, y de su permeabilidad y coeficiente de almacenamiento. Las extracciones del acuífero suponen una disminución del almacenamiento de agua subterránea durante este período transitorio”.

De hecho es un dilema que enfrentan los decisores define la filosofía del planeamiento hidráulico pero, sin lugar a dudas, llegar hasta el minado de los acuíferos es un procedimiento que ya se ha adoptado en muchas regiones donde, como en Libia, se explota un acuífero con aguas

Tabla 5. Indicadores de susceptibilidad de acuíferos a la sobreexplotación (Smith et al., 2016)**Table 5.** Indicators of aquifer susceptibility to overexploitation (Smith et al., 2016)

Indicadores	Factores hidrogeológicos que afectan la susceptibilidad del sistema a la extracción intensiva
Caída de los niveles de agua	Propiedades acuíferas: transmisividad y almacenamiento Recarga anual
Incremento de los costos de bombeo	Volumen del acuífero
Agotamiento de los pozos someros	
Reducción de caudales en los manantiales y el flujo base	
Estrés de la vegetación (desecamiento de humedales, reducción o muerte de la vegetación asociada)	Propiedades acuíferas: transmisividad y almacenamiento Recarga anual Volumen del acuífero Profundidad de las aguas subterráneas Proximidad de aguas salinas o contaminadas Presencia de barreras físicas e hidráulicas Compresibilidad del acuífero
Aguas salinas	Compresibilidad del acuífero Compresibilidad de los acuitardos suprayacentes o interestratificados Espesor de los acuitardos
Pérdida de capacidad del acuífero (el sobreuso puede causar perdida de presión y compactación de las rocas porosas reduciendo su capacidad de retención de agua provocando la reducción de los caudales en los pozos)	
Subsistencia del terreno mientras decrecen los niveles de agua subterránea	
Daños a la infraestructura	

de más de 100 000 años de tiempo de residencia; es decir, cuyas aguas no se reponen, siquiera, en el lapso de varias generaciones humanas. Y este concepto, que sugiere incluir como variable de balance hídrico el tiempo de tránsito de las aguas subterráneas es, sin dudas, un factor de control para poder definir, cuantitativamente, cuando la tasa de alimentación (recarga), es inferior a la de explotación. Y, en este sentido, la aplicación de técnicas isotópicas para el “fechado” de las aguas es una herramienta que se ha aplicado consecuentemente en numerosos países.

La **Tabla 5** resume los factores de sobreexplotación de acuíferos, de acuerdo con **Smith et al (2016)**.

En ciertos medios acuíferos o bajo determinados escenarios geológicos o climáticos y también sesgados por condicionantes sociales y políticas, la explotación intensiva de los recursos hídricos subterráneos puede ser significativamente negativa. Tal es el caso de los acuíferos costeros o de pequeñas islas, las zonas ya sometidas a estrés hídrico, las regiones áridas o aquellos territorios afectados por el déficit de precipitaciones y sequías recurrentes. De hecho, hay varias consecuencias nada despreciables, cuando la tal “explotación intensiva” desplaza, incluso a corto plazo, el balance hídrico de los acuíferos.

Varios efectos principales se registran históricamente:

- **Agotamiento de las reservas;** la Universidad de California ha concluido que el 71% de los acuíferos globales han reducido sus niveles en, al menos, 0,5 metros en lo que va del siglo XXI. Solamente en la península de Yucatán la intrusión marina podría reducir a la mitad la disponibilidad de agua dulce en 20-30 años

- **Salinización de acuíferos y suelos;** el ascenso del nivel del mar y el descenso de los niveles de agua dulce ha permitido el avance tierra adentro de la intrusión marina, en casos hasta varios kilómetros, reduciendo la calidad de las aguas subterráneas e inutilizándolas como fuente de agua potable
- **Hundimientos del terreno;** el caso de China es notable (**Kinzelbach et al, 2022**) así como en Yakarta, que se hunde 0,28 m/año, de Ciudad México, con hundimientos entre 0,1-0,2 m anuales o Lorca, en España, con la tasa mayor de Europa (0,15 m por año). De hecho, España está entre los 25 países más afectados por la subsistencia del terreno
- **Pérdida de la diversidad biológica y hábitats críticos,** que se manifiesta en la degradación de ecosistemas acuáticos en tanto se reducen los caudales de ríos y humedales o descienden los niveles piezométricos -como el caso del río San Pedro, en Arizona cuya pérdida de flora y fauna ha sido determinada por el agotamiento del acuífero o el desplazamiento o desaparición de biota en ambientes cársicos aniquilados
- **Impactos ambientales globales,** como el desplazamiento de 0,8 metros en el eje de rotación de la Tierra motivado por la extracción de 2150 gigatoneladas de agua subterránea entre 1993 y 2010
- **Conflictos sociales, migración y desigualdad económica,** como las llamadas guerras del agua o los desplazamientos de la población por sequías prolongadas
- **Soluciones tecnológicas inadecuadas,** como construir más obras o profundizar los pozos existentes, perforar nuevos o aumentar la extracción de agua subterránea

Siendo las causas principales la demanda agrícola insostenible, el crecimiento poblacional y urbanización, la gestión y monitoreo deficientes y el cambio climático, sobre todo en términos de déficit de precipitaciones y el efecto de la elevación del nivel del mar sobre el avance de la intrusión marina, la pérdida de tierras y la inundación de infraestructuras costeras antes litorales y hoy sumergidas, como se observa en algunos sitios en la playa de Guanabo o en el litoral de Cárdenas-Santa Marta.

Pulido (1998) ha indicado las siguientes, como **causas directas** de la sobreexplotación de acuíferos:

- Descenso de los niveles piezométricos
- Compactación inadecuada del terreno
- Compartimentación de acuíferos
- Aumento de los costos de explotación
- Deterioro de la calidad el agua
- Abandono de pozos
- Modificación del régimen de los ríos
- Afección o secado de zonas húmedas
- Afección a derechos de las personas

Y, como **causas indirectas**:

- Problemas en redes de evacuación y roturas de infraestructuras
- Salinización de suelos
- Desertificación progresiva
- Inducción de hundimientos y colapsos

- Cambios en las propiedades físicas de los acuíferos
- Inducción de contaminación procedente de grandes distancias

Estado de los acuíferos que abastecen la habana

La Habana, capital de la República de Cuba es abastecida desde varios sistemas acuíferos (Fig. 3): un grupo interiores, a saber, Ariguanabo, Almendares-Vento, Jaruco-Aguacate-M1, San Agustín-Cañas-San Juan y Artemisa-Quivicán en la Costera Sur de las provincias actual de Artemisa (Figs. 4 y 5) y cuyo límite meridional es el litoral marino. Algunos, como el sector de la llamada Cuenca de Vento, tienen más de 100 años de explotación y otros desde la primera mitad del siglo XIX. La razón fundamental es que bajo el área urbana de La Habana y sus suburbios no existen acuíferos productivos.

Desde la fundación a principios del siglo XVI, la capital siempre ha dependido de fuentes externas de abastecimiento y, básicamente, de aguas subterráneas. El abasto a la capital se ha basado en un mecanismo de importación de agua potable y, de ahí, para todos los usos sociales, recreativos, agrícolas e industriales.

Esta dependencia de fuentes de abasto lejos de la ciudad ha estado caracterizada, desde siempre, por importantes fugas en ruta y pérdidas muy variadas en las fuentes e intradomiciliarias lo que ha llevado al incremento sistemático de territorios acuíferos para tributar sus recursos a la ciudad, como puede observarse en la Fig. 6 que, muy esquemáticamente, muestra como en 500 años el área de

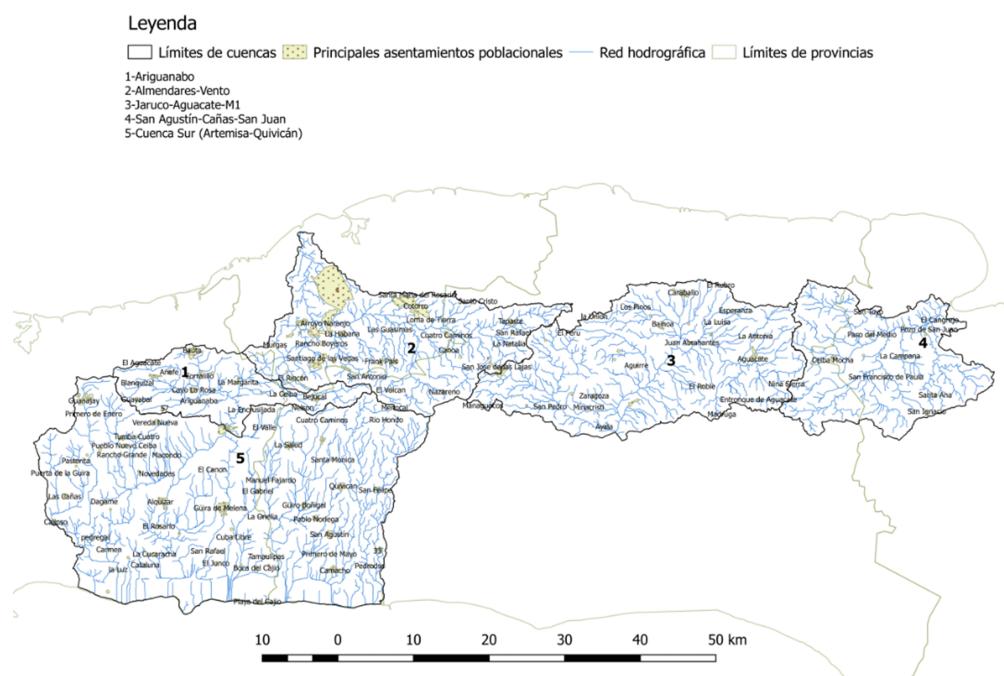


Figura 3. Distribución de los sistemas acuíferos que abastecen La Habana, capital de Cuba (Elaborado por Raydel Alonso)

Figure 3. Distribution of the aquifer systems supplyng La Habana, Cuba's capital (afetr Raydel Alonso)



Figura 4. Superficie de fondo del polje que constituye el sistema acuífero Ariguanabo. Al fondo la Mesa de Anafe (Foto Ana Margarita Sardiñas)

Figure 4. Surface of the aquifer sistema Ariguanabo Polje. Mesa de Anafe at the bottom (Photo Ana Margarita Sardiñas)



Figura 5. Relieve de llanura cársica dominante en el sistema acuífero de la cuenca Sur (Foto del autor)

Figure 5. Dominant karst plain landscape in the Cuenca Sur aquifer system (Photo by the autor)



Figura 6. Evolución histórica esquemática de las áreas acuíferas involucradas históricamente en el abastecimiento de agua potable a La Habana
Figure 6. Schematic historic evolution of the aquifer areas involved in the water supply to La Habana

cuenca necesaria para abastecer a la población de la ciudad se ha incrementado desmesuradamente. Ello ha llevado, consecuentemente a la construcción de un vasto sistema de líneas de distribución, impulsores, nudos de distribución que, colateralmente han incrementado también, sistemáticamente los gastos energéticos de bombeo y entrega.

La búsqueda continua de nuevas fuentes de abasto cada vez más lejos de la ciudad y su explotación intensiva es uno de los mejores ejemplos del dañino esquema de aumentar las extracciones en las cuencas en lugar de modificar las demandas y asegurar el mínimo de pérdidas. Hoy La Habana, según datos del propio Acueducto bombea un caudal sumario que supera casi en cuatro veces la norma para servir a una

población efectiva de 1 796 716 personas, lo que significa un increíble derroche de agua.

“La dotación de la ciudad está alrededor de 600 l/día/hab y el consumo promedio de los usuarios residenciales metrados (20%) está alrededor de 200 l/hab/día. Las pérdidas se estiman en un 50% del agua producida (unos 17 m³/s)” (Odalys Méndez, com. pers. febrero 13, 2025). El porcentaje de pérdida de agua en el abasto a La Habana es uno de los indicadores más críticos de la crisis hídrica que enfrenta la capital cubana. Se trata de un problema arraigado en décadas de infraestructura descuidada y falta de inversión que requiere de una renovación integral del sistema y una gestión sostenible para reducir estas cifras. Esos valores representan

indirectamente el incremento de bombeo de los acuíferos para paliar la demanda de consumo.

El descenso sostenido de los niveles piezométricos, una larga sequía hidrológica, el aumento sostenido de la explotación y la presencia de aguas con largo tiempo de residencia en algunos de esos sistemas no hacen dudar, en lo absoluto, que muchos de ellos puedan calificarse como sobreexplotados. Problemas técnicos adicionales sostienen esa idea, tales como las notables pérdidas en ruta y fugas en la red de distribución, incluyendo la intradomiciliaria a las que se suma un muy incompleto control de extracciones y el todavía muy reducido sistema de metrado pero de una efectividad extraordinaria como se mencionó anteriormente, que llega a disminuir en una tercera parte el consumo de agua en la capital.

Su carácter distintivo es que se trata de acuíferos cársicos, en general libres (sin presión), someros, desarrollados en zonas llanas, la mayor parte en tierras interiores excepto la parte meridional de Artemisa-Quivicán, formando un acuífero litoral en contacto con el mar meridional de Cuba y el único amenazado por la intrusión marina. El territorio que abarca un área de 4 930 km², reúnen recursos del orden de 2 350 Hm³/año y sirven a una población aproximada de 3,07 millones de personas (≈28% de la población total del país). De ellas, poco más de un millón y medio en la capital.

Existe un buen nivel de estudio hidrogeológico regional y, en los últimos tiempos, algunos problemas específicos han sido tratados por diferentes autores (Del Rosario et al., 2013, 2021; JICA, 2016; Molerio 2023, 2024a, 2024b, 2024c; Molerio, Alonso y Sardiñas, 2024; Molerio y Sardiñas 2023). En tres de estos sistemas acuíferos, la aplicación de técnicas de hidrología isotópica (IAEA, 2006; Madiounea et al. 2014; Hssaisoune et al. 2022), permitió definir los patrones de recarga, organización del flujo y tiempo de residencia de las aguas (Molerio, 2006, 2007, 2008; Molerio et al., 1993, 2002; Molerio et al., 2007; Peralta et al, 2005, 2006; Dapeña et al., 2006).

Especialmente importantes fueron los resultados obtenidos respecto al tiempo de tránsito de las aguas subterráneas en los sistemas Vento, Jaruco y Aguacate M-1 que mostraron que en las zonas de descarga natural y en ciertos sectores explotados del acuífero, durante el estiaje predominan casi exclusivamente aguas con tiempos de tránsito superiores a los 115 años (Figs. 7-9), lo que unido a la sistemática declinación de los niveles piezométricos y cierta compartimentación e individualización de sistemas de flujo locales o intermedios que apoyan con mucha fuerza que estos acuíferos se encuentran en condiciones de no equilibrio y el recurso se está minando en esos sectores.

Afirmar categóricamente que se trata de sobreexplotación ha sido defendido por el autor en algunos trabajos precedentes sobre la base de técnicas isotópicas. Pero de manera independiente Méndez (2024) y Méndez et al., (2018,2022)

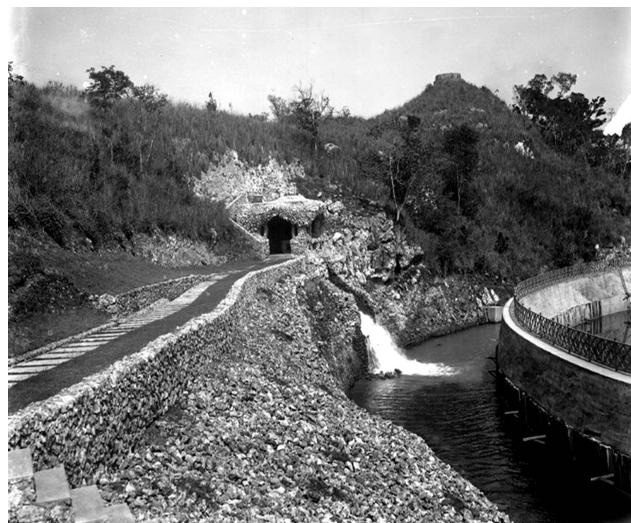


Figura 7. Aguada del Cura, obra de captación de los manantiales. Foto de la Secretaría de Obras Públicas 23 de abril de 1929 (Archivo del autor)

Figure 7. Aguada del Cura karst springs collector for La Habana water supply, Photo by the former Public Works Secretary, april 23, 1929 (Authors Archives)



Figura 8. Taza Grande de Vento. Captación principal de los manantiales (Junio 5, 2009; Foto del autor)

Figure 8. Vento's Taza Grande. Main collector system of karst springs (June 5, 2009; Photo by the author)

han comprobado la reducción persistente en el período 2000-2020 de los caudales en el Canal de Vento, punto de descarga de todo el sistema acuífero Almendares-Vento (Figs. 10 y 11).

La data hidrodinámica disponible tiene una fuerte componente de incertidumbre y no muestra la misma longitud y calidad para todos los sistemas acuíferos involucrados en el abasto de agua a La Habana. Peor aún, la data relacionada con las extracciones dista aun de ser uniforme y absolutamente



Figura 9. Cola del embalse Pedroso que cubre los Manantiales de Ojo de Agua de Mayabeque, cuyas aguas subterráneas durante el estiaje tienen un tiempo de tránsito de unos 115 años (Foto del autor)

Figure 9. Pedroso embankment flooding the Ojo de Agua de Mayabeque karst springs taht during dry season discharges groundwaters with turnover time close to 115 years (Photo by the author)

confiable, de ahí que argumentar que los sistemas están sobreexplotados tropieza con esas dificultades.

Proponer a los decisores que tomen las medidas adecuadas en la dirección que se ha argumentado en este artículo; esto es, privilegiar la gestión de la demanda sobre el incremento de la explotación del acuífero para satisfacer las necesidades de suministro no se sustenta en inequívocas razones y cede ante las presiones de las autoridades que tienen que garantizar, por mandato constitucional, el acceso a agua segura en cantidad y calidad.

Para contribuir a ese propósito se elaboró una matriz de incidencias cualitativas basada en criterio de experto que permitiera unificar criterios comparativos respecto a la respuesta de los sistemas acuíferos a los patrones considerados de sobreexplotación en la literatura internacional (Tabla 6). Un vistazo a la misma muestra la notable concurrencia de los elementos comúnmente reconocidos para caracterizar la sobreexplotación de acuíferos en cada uno de los grandes sistemas que abastecen la capital del país.

Con total independencia del concepto que se adopte, es innegable que tales indicadores caracterizan aspectos negativos directa o indirectamente vinculados con el balance hídrico y la disponibilidad de reservas en cada uno de ellos. Una de las limitaciones de la Tabla 6 es que algunos de ellos no se conocen siquiera cualitativamente y puede influir en la apreciación global del problema pero, sin dudas, el elevadísimo porcentaje reconocido en cada acuífero muestra una situación realmente preocupante respecto al aprovechamiento (racional?) de los recursos hídricos.

De vuelta al problema inicial, el abuso que impone resolver el déficit en el abasto incrementando de alguna manera la explotación de la cuenca es un error conceptual que cuesta

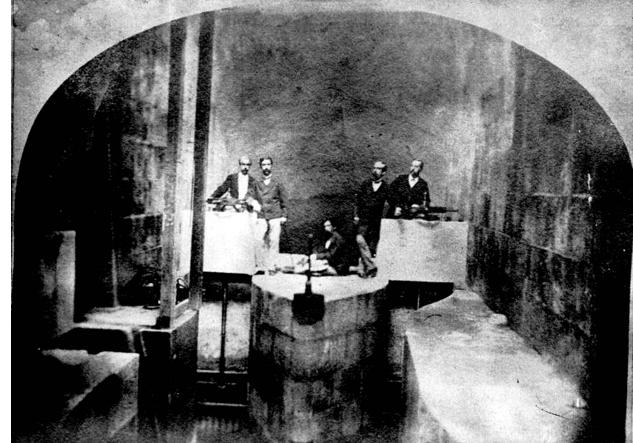


Figura 10. Túnel de Albear y Canal de Vento (Foto Secretaría de Obras Públicas, Septiembre 3, 1928; Archivo del autor)

Figure 10. Albear's Tunnel and the Vento Canal. Photo by the former Public Works Secretary, September 3, 1928 (Authors Archives)

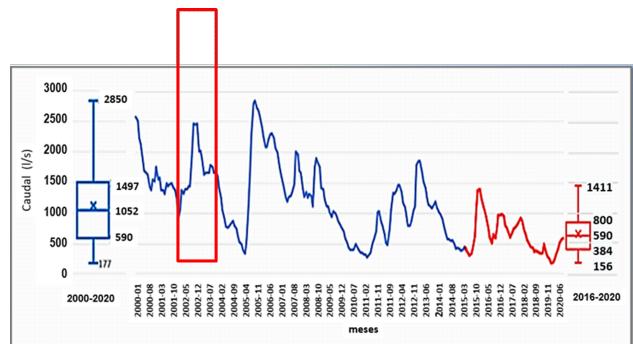


Figura 11. Comportamiento hiperanual de caudales de descarga en el Canal de Vento, punto principal de descarga de los sistemas acuíferos en el polje (Méndez, 2024). Se enmarca el período que coincide con las observaciones isotópicas.

Figure 11. Long term behavior of the yields at the Vento Canal, main outflow of the aquifer system draining the Vento Polje (Méndez, 2024). The highlighted time span coincides with the period of isotopic measurements.

sumamente caro. La gestión de la demanda se reitera que debe privilegiarse respecto al reforzamiento de obras existente o inducir nuevos sistemas de captaciones o regulación artificial.

Los casos de los complejos sistemas acuíferos Jaruco-Aguacate-M 1 y Vento han sido estudiados en detalle aplicando técnicas nucleares que demostraron que ambos sistemas -que se extienden por más de 500 km² de superficie se encontraban ya en estado de no equilibrio desde 1987 en el caso de JAG y 2002 en Vento (Dapeña et al., 2006; Peralta et al., 2005, 2006; Molerio et al., 1993, 2002; Molerio, 2006, 2007, 2008, 2024a, 2024b; Molerio, Vento y Sardiñas, 2024; Molerio et al., 2007).

Tabla 6. Matriz cualitativa de evidencias de sobreexplotación de los sistemas acuíferos que abastecen La Habana (AG, Ariguanabo; V, Almendares-Vento; JAG, Jaruco-Aguacate-M1; SA, San Juan-San Agustín-Cañas; AQ, Artemisa-Quivicán). AG, V, JAG y SJ no promedian salinización de acuíferos y suelos por tratarse de sistemas en tierras interiores.

Table 6. Qualitative matrix of overexploitation evidences of the aquifers supplying La Habana (AG, Ariguanabo; V, Almendares-Vento; JAG, Jaruco-Aguacate-M1; SA, San Juan-San Agustín-Cañas; AQ, Artemisa-Quivicán). AG, V, JAG y SJ are inland systems and do not average aquifer salinization

Variable	AG	V	JAG	SJ	AQ
1. Agotamiento de reservas/recursos	X	X	X	X	X
2. Descenso de los niveles piezométricos	X	X	X	X	X
3. Hundimientos y compactación inadecuada del terreno - Inducción de hundimientos y colapsos		X			
4. Compartimentación de acuíferos	X	X	X	X	X
5. Aumento de los costos de explotación	X	X	X	X	X
6. Deterioro de la calidad el agua	X	X	X	X	X
7. Abandono de pozos	X	X	X	X	X
8. Modificación del régimen de los ríos	X	X	X	X	X
9. Afección o secado de zonas húmedas		X			
10. Afección a derechos de las personas		X		X	
11. Problemas en redes de evacuación y roturas de infraestructuras	X	X	X	X	X
12. Salinización de acuíferos y suelos					X
13. Desertificación progresiva					
14. Cambios en las propiedades físicas de los acuíferos	X	X	X		
15. Inducción de contaminación procedente de grandes distancias			X	X	X
16. Pérdida de diversidad biológica y hábitats críticos	X		X		X
17. Conflictos sociales, migración y desigualdad económica	X	X	X	X	X
18. Soluciones tecnológicas inadecuadas	X	X	X	X	X
19. Aguas fuera de ciclo hidrológico actual (de largo tiempo de tránsito > 100 años o aguas fósiles)	X	X	X	X	
Porcentaje de evidencias	83	72	89	67	63

Y en este caso se satisface el criterio de que “*la sobreexplotación se puede definir como la situación en la que durante varios años la extracción media de agua subterránea de un acuífero supera o se aproxima a la recarga media*”.

Nota final

La sobreexplotación de acuíferos cárnicos exige un enfoque integral que combine tecnología, regulación estricta y participación social. Su conservación no solo asegura el suministro hídrico, sino también la estabilidad de ecosistemas y economías locales. Los acuíferos cárnicos, caracterizados por su alta permeabilidad y vulnerabilidad a la contaminación, requieren estrategias específicas para evitar su sobreexplotación entre las que pueden resumirse las siguientes:

1. Mejorar el control y regulación de extracciones
- Detectar y eliminar pozos ilegales: Implementar sistemas de inspección y sanciones para evitar extracciones no autorizadas
- Revisar concesiones: Actualizar los permisos de extracción según la capacidad real de recarga del acuífero y priorizar usos sostenibles

- Establecer cuotas de extracción: Limitar el volumen anual de agua extraída para no superar la tasa de recarga natural
- 2. Identificar y proteger las zonas de recarga, tarea compleja en acuíferos cárnicos cuando el karst desnudo, las dolinas y cuevas abiertas a la superficie alimentan sistemas locales de flujo pero aun así, proceder a la:
 - Reforestación y conservación de suelos: Plantar vegetación nativa en áreas de infiltración para mejorar la permeabilidad y reducir la erosión y eliminar la práctica de llenar y tapiar artificialmente dolinas, cuevas y sumideros
 - Establecer y hacer respetar restricciones urbanas: Limitar la construcción en zonas críticas de recarga para evitar la impermeabilización del suelo
 - Restauración o mejorar humedales: Recuperar ecosistemas que favorecen la infiltración y filtrado natural del agua como en la zona del Dique Sur de La Habana
- 3. Introducir recursos tecnológicos y elevar la eficiencia en la gestión del agua mediante:
 - Sistemas de riego de precisión: Utilizar técnicas como el riego por goteo o sensores de humedad para reducir

- el desperdicio en agricultura, principal consumidor de agua subterránea
- Monitoreo en tiempo real: Instalar sensores para medir niveles freáticos y calidad del agua, integrando datos en plataformas de gestión
 - Recarga artificial: Inyectar agua tratada o pluvial en el acuífero mediante pozos o zanjas de infiltración, especialmente en épocas de lluvia
4. Desarrollo e implementación de políticas y participación comunitaria en la gestión del recurso promoviendo:
- Incentivos económicos: Subsidiar prácticas agrícolas sostenibles (ej. cultivos de secano o producción ecológica) y penalizar el uso excesivo del agua
 - Educación ambiental: Campañas para concienciar sobre la importancia del acuífero y promover el ahorro doméstico e industrial
 - Gobernanza colaborativa: Involucrar a comunidades locales, agricultores y autoridades en la planificación hídrica para evitar conflictos
5. Restauración de acuíferos y adaptación climática
- Mitigación de la contaminación: Reducir el uso de fertilizantes químicos y tratar aguas residuales para evitar la degradación del acuífero
 - Proyectos de resiliencia: Desarrollar infraestructuras que capturen agua pluvial y reduzcan la dependencia del acuífero durante sequías.
 - Planificación territorial: Integrar mapas de vulnerabilidad del acuífero en políticas urbanas y agrícolas

Para garantizar un control efectivo de las medidas de mejoramiento en un acuífero cársico sobreexplotado, es esencial medir variables clave que aborden tanto las características hidrogeológicas como los impactos socioambientales. Un enfoque integral que combine mediciones físicas, químicas y sociales es crucial para mitigar la sobreexplotación. La integración de modelos matemáticos y el monitoreo continuo de variables críticas permiten diseñar estrategias adaptativas, como la recarga artificial o la regulación sectorial, asegurando la resiliencia del acuífero a largo plazo.

La reducción de incertidumbre en la gestión solamente puede lograrse sistemáticamente mejorando el conocimiento de variables geológicas, hidrológicas y operacionales que resultan clave; a saber:

- Monitorear la tasa de recarga natural, especialmente en zonas de infiltración difusa o concentrada, para evaluar el equilibrio entre extracción y reposición
- Registrar los volúmenes diarios o mensuales extraídos de pozos, junto con su estado (abatidos o en reposo), ya que un incremento en pozos agotados indica sobreexplotación

- Evaluar la heterogeneidad del acuífero mediante análisis tectonofaciales que integran el acuífero y prestar atención especial a los cambios faciales verticales y horizontales que condiciona la heterogeneidad y anisotropía del campo de propiedades físicas

Calidad y cantidad van parejas, por lo que el tema de la hidrodinámica geoquímica de los acuíferos es trascendente al momento de cuantificar el consumo por usuario en sectores clave, las tarifas de distribución e incentivar el uso responsable, especialmente en sectores de alto consumo, sin dejar de lado la implementación de programas educativos sobre uso sostenible del agua, ya que la falta de difusión agrava la sobreexplotación.

Reconocimientos

Por los amables intercambios de puntos de vista deseo expresar mi reconocimiento a los siguientes colegas y amigos: Dionisio Amor, Raydel Alonso, Danilo Antón, Luis Araguás, Luis Barinaga, Osvaldo Barros, Emilio Custodio, Andrés Díaz Arenas, Félix Dilla, Carlos Fernández Jáuregui, Karl Froehlich, Mario González, Arturo González, Didier Louvat, Piotr Maloszewski, Haydee Llanusa, Cecilia March, Yoel Martínez, Odalys Méndez, Manuel Pin, Antonio Pulido, César O. Rodríguez, Andrés Sahuquillo, Susana Valencio y a Ana, mi compañera.

Bibliografía

- Antón, Danilo J. (1995): Villes assoiffées. L'approvisionnement en eau dans les villes d'Amérique latine. Centre Rech Development Internatl., Ottawa, 215:
- Bear, J. D. Levin (1967): The optimal yield of an aquifer. Artificial recharge and management of aquifers. Publ 72, *Int Assoc Sci Hydrol - UNESCO*:401-412
- Billings, R. Bruce y Donald E. Agthe (1980): Price Elasticities for Water: A case of Increasing Block Rates. *Land Economics* 56 (Feb):74-84.
- Bredehoeft, J.D. (1997): Safe yield and the water budget myth. *Ground Water* 35(6):929
- Burdon, D. J. (1977); The flow of fossil groundwater. *Q J Eng Geol* 10:97-124
- CEPAL (1980): Medio Ambiente y desarrollo en América Latina y El Caribe. México, 190:
- Charney, A. H., G. C. Woodard y J. J. Opaluch (1984): A Test of Consumer Demand Response to Water Prices: Comment/Reply. *Land Economics* 60:414-421.
- Collin, J.J. y J. Margat (1993): Overexploitation of water resources: overreaction or an economic reality? *Hydroplus* 36:26-37
- Custodio, E. (1989): Strict aquifer control rules versus unrestricted groundwater exploitation: comments on economic consequences. In: *Groundwater economics. Developments in water science*, Elsevier, 39:381-395

- Custodio, E. (1993): Hydrogeological and hydrochemical aspects of aquifer overexploitation. In: Aquifer overexploitation. *Int Assoc Hydrogeol, Selected Papers* 3, Heise, pp 3-28
- Custodio, Emilio (1996): Explotación racional de las aguas subterráneas. *Acta Geologica Hispanica*, 30(3):21-48
- Custodio, Emilio (2000): The complex concept of overexploited aquifer. Papeles del proyecto aguas subterráneas. Uso intensivo de las aguas subterráneas. Aspectos éticos, tecnológicos y económicos José Javier Clúa, Director, Fundación Federico Botín Serie A,:2-62
- Custodio, E. (2002). Aquifer overexploitation: What does it mean? *Hydrogeology Journal*, 10(2), 254-277. <https://doi.org/10.1007/s10040-002-0188-6>
- Dapeña, C., J.L. Peralta Vital, R. Gil Castillo, D. Leyva Bombuse, H.O. Panarello, I. M. Fernández Gómez, L.F. Molerio León, M. Pin (2006): Caracterización isotópica de la Cuenca kárstica Almendares-Vento, Cuba. Resultados Preliminares. XI Congr. Geol.. Chileno, *Antofagasta, Actas*. Vol. 2, Simp. Hidrogeol.; 607-610
- Del Rosario, Katia, Viera Petrova Nicolaevna, Alberto Cuéllar Valenzuela, Dailene Acosta Freyre, Armando Hernández Valdés y Haydée Llanusa Ruiz (2013): Particularidades del escurrimiento de la cuenca cubana San Juan. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXIV(3) Sep-Dic 2013:17-29
- Del Rosario, Katia, Viera Petrova Nicolaevna, Haydée Llanusa Ruiz y Armando Hernández Valdés (2021): La componente subterránea en el balance hídrico de la cuenca cubana San Juan. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XLII(2):89-103
- Díaz Duque, José Antonio (2018): El agua en Cuba: un desafío a la sostenibilidad. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXIX (2), May-Ago 2018:46-59
- Dijon, R. y E. Custodio (1992): Groundwater overexploitation in developing countries: report of an interregional workshop (Las Palmas de Gran Canaria, Canary Islands, Spain). United Nations Department of Technical Cooperation for Development, New York. Doc UN INT/90/R43,109:
- Dorticós del Río, Pedro Luís, Mercedes Arellano Acosta, Jorge Mario García Fernández, Margarita Fontova de los Reyes, Nercy Becerra Infante, Eulalia López Álvarez, Argelio Fernández Richelme, Enrique Martínez Ovide, Abel Fernández Díaz, Rubén Hernández Boy, María Isabel González González, Leyda Oquendo Barrios, Carmen Terry Berro, Rigoberto Lamyser Castellanos (2012): Recursos hídricos en Cuba Una visión. En/ Blanca Jiménez Cisneros José Galizia Tundisi: Diagnóstico del agua en las Américas. Red Interamericana de Academias de Ciencias Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC, México:244-265
- Eissa, S. G. (2006). Guerra por el agua: ¿un escenario de conflicto para la Argentina y el Brasil? [Ponencia]. III Congreso de Relaciones Internacionales, La Plata, Argentina.
- EPUR INGENIERÍA. (2013). Dotación de agua para diferentes sectores.
- Fernández-Jáuregui, C. (2001). El agua como fuente de conflictos: repaso de los focos de conflictos en el mundo. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco.
- Foster, Henry S., Jr. y Bruce R. Beattie (1979): Urban Residential Demand for Water in the United States. *Land Economics* 55 (Feb): 43-58.
- Foster, S.S.D. (1993): Unsustainable development and irrational exploitation of groundwater resources in developing nations: an overview. In: Aquifer overexploitation. *Int Assoc Hydrogeol, Selected Papers* 3, Heise, pp 385-402
- Foster, Stephen y Dabiel P. Loucks (2006): Non-renewable groundwater resources. A guidebook on socially-sustainable management for water policy makers. *IHP-VI Series on Groundwater* Mo. 10, Unesco, 103:
- Griffiths, W. E., R. C. Hill y G. G. Judge (1992): Learning and Practicing Econometrics. Wiley & Sons, Inc. 345:
- Hewitt, Julie A. y W. Michael Hanemann (1995): A discrete/continuous choice approach to residential water demand under block rate pricing. *Land Economics* 71 (May):173-192.
- Howe, C.W. (1987): On the theory of optimal regional development based on an exhaustible resource. *Growth Change* 18:53-68
- Hssaisoune, M.; Bouchaou,L.; Qurtobi, M.; Marah, H.; Beraaouz,M.; Stitou El Messari, J. (2022): Isotopic and Chemical Tracing for Residence Time and Recharge Mechanisms of Groundwater under Semi-Arid Climate: Case from Rif Mountains(Northern Morocco). *Geosciences* 12, 74.
- IAEA-International Atomic Energy Agency. (2006). Isotopic assessment of long term groundwater exploitation (IAEA-TECDOC-1507).
- JICA (2016): Proyecto para el fortalecimiento de las capacidades del manejo del agua subterránea y el control de la intrusión salina en la República de Cuba. Inst. Nac. Rec. Hidráulicos, La Habana, 119:
- Kinzelbach, Wolfgang, Haijing Wang, Yu Li, Lu Wang, Ning Li (2022): Groundwater overexploitation in the North China Plain: A path to sustainability. Springer, 157:
- Krishnaiah, Paruchuri. R. y Calyampudi. R. Rao (1998): Sampling. Elsevier Science Pub. Co. 1998
- Lacquemanne, O (2000): Integrated approach key to groundwater management. *Water & Wastewater International*, August, 2000, Pennwell Corp. USA :14-16
- LaMoreaux, P.E. y J.G. Newton (1993) Environmental effects of overexploitation in a karst terrain. In: Aquifer

- overexploitation. *Int Assoc Hydrogeol, Selected Papers* 3, Heise:107-113
- Llamas, M.R. (1992): La sobreexplotación de aguas subterráneas ¿bendición, maldición o entelequia? *Tecnología del Agua*, 91:54-68
- Madiounea, D.H., Faye, S., Orban, P., Brouyère, S., Dassargues, A., Mudry, J., Stumpp, C., Maloszewski, P., (2014): Application of isotopic tracers as a tool for understanding hydrodynamic behavior of the highly exploited Diass aquifer system (Senegal). *Journal of Hydrology*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.037>
- Margat, J. (1977): De la surexploitation des nappes souterraines. *Eaux Souterraines et Approvisionnement en Eau de la France*. Ed BRGM, Orléans, pp 393-408
- Margat, J. (1992): Quel est le concept de surexploitation utile a la gestion des eaux souterraines?. *Hydrogéologie*, Orléans 4:145-152
- Margat, J. (1993): The overexploitation of aquifers. In: Aquifer overexploitation. *Int Assoc Hydrogeol, Selected Papers* 3, Heise, pp 29-40
- Margat J. y K.F. Saad (1982): Utilisation des ressources fossiles: analyse de cas historiques. *Hydrogéologie-Geologie de l'Ingenieur*, Orléans, Sect III(3/4):289-304
- Medina, Miguel Eduardo y María Alejandra Pérez Montilla (2022): Demanda de agua urbana: Acueducto metropolitano de Mérida. Algunas reflexiones sobre el valor de la demanda. *Ing. Hidráulica y Ambiental*, L Habana (43(1):92-103
- Méndez Valdés, Odalys (2019): Paradoja entre servicio discontinuo y disponibilidad de agua en los abastecimientos urbanos. XII Simposio Internacional de Estructuras y Geotecnia II Coloquio de Análisis y Diseño de Obras Hidráulicas, Villa Clara, 14:
- Méndez, Odalys (2024): Gestión de la sequía operacional en captaciones de agua subterránea. Caso de estudio: Cuenca Vento. Resumen de Tesis en Opción al Grado de Doctora en Ciencias Técnicas, La Habana, 28:
- Méndez Valdés, Odalys, E. Rivera, Haydee Llanusa Ruiz, A. Hernández (2018): Enfrentamiento a la sequía operacional en la empresa Aguas de La Habana. *Ing. Hidráulica y ambiental*, 39(2):112-123
- Méndez Valdés, Odalys, Raisa Socorro Llanes, Haydee Llanusa Ruiz, Daniel Enrique Valdés Salomón (2022): Evaluación de la disponibilidad de agua en la cuenca Vento aplicando minería de datos. UNESP, *Geociencias*, 41(4):975- 990
- Molerio León, L.F. (2000): La gestión de la demanda de los recursos hídricos. Primer Seminario Latinoamericano de Geografía Física. Conferencia especial, La Habana, 5:
- Molerio León, L.F. (2003): El Agua: fuente de conflictos bélicos. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*, 3(4),5:
- Molerio León, L.F. (2006): Isotopic evidence of the overexploitation of karst aquifers. In/ Demuth, S., A. Gustard, E. Planos, F. Scatena, E. Servat (Eds.): Climate Variability and Change: Hydrological Impacts. IAHS Publ. 308, Publ. 308: 629-634 Wallingford.
- Molerio León, L.F. (2007): Tritium as an indicator of groundwater overexploitation in a tropical karst aquifer. International Symposium on Advances in Isotope Hydrology and its role in sustainable Water Resources Management, Vienna, Austria, 21-25 May, 2007. IAEA-CN-151/125
- Molerio León, L.F. (2008): Una Revisión del Uso de Tritio Cosmogénico en el fechado de aguas subterráneas y su aplicación en el Acuífero Kárstico de la Cuenca de Vento, *CubaBol. Soc. Venezolana Espeleol.* 42: 20-32
- Molerio-León, L.F. (2023): Hidrogeología de las regiones cársticas de Cuba: Marco conceptual. *Gota a gota*, 28: 35-54. Grupo de Espeleología de Villacarrillo, G.E.V. (ed.) <https://www.researchgate.net/publication/369089226>
- Molerio León, L.F. (2024a): Recarga natural y balance de tritio en las aguas subterráneas del Polje Vento, Cuba Occidental. *Gota a gota*, 32, 15-24. <https://www.researchgate.net/publication/383500598>
- Molerio León, L.F. (2024b): Hidrología del cinturón de poljes Ariguanabo-Cañas-;San Juan? (Cuba) y el problema de la gestión ordenada de sus recursos hídricos. *Mundo Subterráneo* 10:10-49. <https://www.researchgate.net/publication/383500868>
- Molerio León, L.F. (2024c): Las aguas de Ariguanabo. *El Igepitosauro. Boletín del Grupo IGP-SCG*, 13(144):5-7 <https://www.researchgate.net/publication/383500855>
- Molerio León, L.F., Raydel Alonso Montero, Ana Margarita Sardiñas Gómez (2024): Problemas hidrogeológicos de la gestión eficiente de los recursos hídricos del Polje Ariguanabo, Cuba. *Maya. Revista de Geociencias*, México, Suplemento Septiembre:24-84 <https://www.researchgate.net/publication/384437314>
- Molerio-León, L.F., Ma. I. González González, E.O. Planos Gutiérrez (2015): Singularidades de la gestión de acuíferos insulares en el trópico húmedo: Ciclo urbano del agua en La Habana, República de Cuba. In/ Vammen, K. y A. de la Cruz Molina [Editores] (2015): Desafíos del Agua Urbana en Las Américas. *Perspectivas de las Academias de Ciencias*. <http://www.ianas.org/index.php/books>
- Molerio León, L.F., P. Maloszewski, M.G. Guerra Oliva, D.M. Arellano, K. Del Rosario (2002): Hidrodinámica isotópica de los sistemas acuíferos Jaruco y Aguacate, Cuba. *Ing. Hidr. y Ambiental*, XXIII (2):3-9
- Molerio León, Leslie F.; P. Maloszewski; M.G. Guerra Oliva; O. A. Regalado; D. M. Arellano Acosta; C. March Delgado, K. Del Rosario (1993): Dinámica del Flujo Regional en el Sistema Cárstico Jaruco-Aguacate, Cuba. in/ Estudios de Hidrología Isotópica en América Latina 1994, *IAEA TECDOC-835*, Viena, :139-174

- Molerio León, L.F., M. Pin, M.G. Guerra (2007): Diseño de la Red de Monitoreo de Tritio en las Aguas Subterráneas de la Cuenca de Vento, Habana, Cuba. *Mapping, Revista Internac. Ciencias de la Tierra*, 32.
- Molerio-León, L.F. y Ana M. Sardiñas (2023): Evaluación de los recursos hídricos de Cuba (II): Dominio de los acuíferos cárnicos, regionalización y recursos potenciales de agua subterránea. *Gota a gota*, 29: 33-46. Grupo de Espeleología de Villacarrillo, G.E.V. (ed.)
- Molerio-León, L.F., Ercilio Vento, Ana Margarita Sardiñas (2024): La conexión subterránea entre Madruga y Matanzas. <https://www.juventudtecnica.cu/articulos/la-conexion-subterranea-entre-madruga-y-matanzas/>
- Nieswiadomy, Michel L. y David J. Molina (1989): Comparing Residential Water Demand Estimates Under Decreasing and Increasing Block Rates Using Household Data. *Land Economics* 65: 280-289.
- Obregón Herrera, Emmanuel (2008): Modelos de estimación de demanda de agua. Usuarios domésticos de agua potable. Inst. Tecnológico de Monterrey, 22:
- Peralta Vital, J.L., R. Gil Castillo, L.F. Molerio León, D. Leyva Bombuse, C. Dapeña, H. O. Panarello, J. Carrazana González, M. Pin (2006): Uso de la hidrología isotópica en la evaluación de una importante cuenca cárstica cubana, para la gestión sostenible de sus recursos hídricos. VIII Congr. Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Asunción, Paraguay, Septiembre,: 1-22
- Peralta Vital, J.L., L.F. Molerio, R. Gil, M. Pin, D. Leyva (2005): Empleo de herramientas geomatemáticas para el diseño de una red de monitoreo radiosotópico en el modelaje hidrodinámico de un recurso hídrico complejo. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, 6:29G-39G
- Pulido. Antonio (1998): Sobreexplotación de acuíferos y desarrollo sostenible. Universidad de Almería:115-132
- Pulido A., A. Castillo, A. Padilla [Ed] (1989): La sobreexplotación de acuíferos. In: Sobreexplotación de Acuíferos. Asoc Int Hidrogeólogos/Grupo Español-Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Almería/Madrid,687:
- Rodríguez Díaz, Mónica (2008): Cuenta del Agua. Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Programa de Medio Ambiente, Bogotá, 28:
- Simmers, I., F. Villarroya, L.F. Rebollo [Eds] (1993): Aquifer overexploitation. *Internatl. Assoc. Hydrogeol, Selected Papers* 3, Heise. 392:
- Smith, M., K. Cross, M. Paden, y P. Laban [Eds] (2016): Spring - Managing groundwater sustainably. IUCN, Gland, Switzerland, 133:
- Soto, Gloria, Alfredo Ramírez Fuentes y Lucy Maya (2012): Estimación de los factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico en México. Informe final. Comisión Nacional del Agua, Centro de Investigación y docencia económica, México, 154:
- Sophocleous, M. (2000): From safe yield to sustainable development of water resources - the Kansas experience. *J Hydrol* 235:27-43
- Wang, Z. (1992): Environmental effects related to aquifer overexploitation in arid and semi-arid areas of China. In: *Proc XXIII Congr, Int Assoc Hydrogeol*, Puerto de la Cruz, I, pp 489-492
- Young, R.A. (1970): Safe yield of aquifers: an economic reformulation. *Am Soc Civil Eng, J Irrig Drainage Div IR4*:377-385
- Young, R.A. (1993): Managing aquifer over-exploitation: economics and policies. In: Aquifer overexploitation. *Int Assoc Hydrogeol, Selected Papers* 3, Heise, pp 199-222