

## **CAPITULO 4. RECURSOS HIDRICOS**

### **4.1. El agua en Cuba.**

La ubicación y las características físico-geográficas del archipiélago cubano, con un relieve caracterizado por la sucesión de extensas llanuras y montañas, que por su disposición se interponen al paso de las masas de aire húmedo, influyen significativamente en el régimen hidrológico. En las regiones Occidental y Central predominan las llanuras y alturas bajas, aunque esta regularidad es interrumpida por la Cordillera de Guaniguanico, en la provincia de Pinar del Río y el grupo montañoso Guamuhaya, al sur de las provincias centrales, mientras que la Región Oriental es dominada por un relieve montañoso y llanuras que sufren intensamente el efecto de la barrera orográfica. Otra característica notable es la apreciable acción reguladora del carso sobre el escurrimiento superficial en las regiones Occidental y Central de Cuba.

La propia configuración del territorio, de forma alargada y estrecha, conjuntamente con la disposición y estructura del relieve, determinan la existencia de un parteaguas central a lo largo de toda la isla principal, en la dirección de su eje longitudinal, el cual define dos vertientes principales: la vertiente septentrional y la vertiente meridional. Como consecuencia de esta característica particular del territorio cubano, casi la totalidad de los ríos corren en la dirección contraria al parteaguas central, siendo corrientes de corto curso y marcadas pendientes y con un régimen de caudales variable, en dependencia del comportamiento anual de las precipitaciones. Debido a lo anterior, la longitud de los ríos y el área de las cuencas en el 85% de los casos son inferiores a 40 km y 200 km<sup>2</sup>, respectivamente. Dos cuencas, 0.32% del total, tienen entre 2001 y 2500 km<sup>2</sup> y una cuenca, el 0.16% del total, tiene más de 2500 km<sup>2</sup>. Sólo 14 superan los 1000 km<sup>2</sup>. Desaguan al Norte, en el Golfo de México y el Océano Atlántico, 263 cuencas, mientras que otras 327 lo hacen al Sur, en el Mar Caribe. El Río Cauto, ubicado en la Región Oriental, presenta la mayor de las cuencas de Cuba (orientación este - oeste), abarcando un área aproximada de 9500 km cuadrados. Si se tiene en cuenta que la orografía de la isla principal y que el régimen pluvial es el factor fundamental que determina el régimen del escurrimiento, y la extraordinaria difusión de los fenómenos cárnicos en el país, se explica por qué predominan ríos y cuencas colectoras pequeñas

Todos los procesos asociados al escurrimiento fluvial, sus componentes genéticas y su variabilidad, están determinados por una sola fuente de alimentación: la precipitación. Su variabilidad en el tiempo muestra una alternancia de períodos que da lugar a prolongadas e intensas sequías y períodos de elevada actividad pluvial, comportamiento éste que influye sensiblemente sobre la formación de los recursos hídricos y en el manejo del agua en el país.

Los períodos de ocurrencia de las lluvias también determinan el régimen hídrico de los ríos, esto da lugar a que en el período lluvioso se produzcan las mayores

crecidas. Pequeños arroyos y ríos aumentan su caudal de forma súbita y producen inundaciones en el territorio de las cuencas fluviales.

Un elemento de particular influencia sobre la hidrología de Cuba, es la presencia de tormentas tropicales de notable intensidad pluvial, que frecuentan el área del Caribe entre los meses de junio a noviembre. Estudios realizados sobre las características hidrológicas de las lluvias torrenciales han permitido precisar el sensible peso que éstas tienen en el régimen hidrológico de algunas localidades en las que, en ocasiones, estas lluvias pueden llegar a superar la lámina promedio para un año.

La lluvia media anual de Cuba es de 1335 mm y sin embargo en años secos promedio, este valor desciende hasta 1180 mm mientras que en años húmedos promedio, asciende hasta alrededor de 1450 mm. En un año lluvioso normal (aun cuando la lluvia nacional es de 1335 mm) precipitan 1437 mm en la región Occidente del país, 1308 mm en el Centro y 1279 mm en el Oriente. La Región Oriental es la que presenta los mayores contrastes, pues en ella se ubican los lugares de mayor y de menor precipitación en Cuba. El lugar más lluvioso es el Pico El Toldo en Moa, Holguín (donde caen cada año 4400 mm). Sin embargo, distante a unos escasos 40 km., hacia el Sur, en San Antonio del Sur (Guantánamo), las lluvias anuales apenas ascienden a 400 mm. Otro dato de interés es el de las diferencias, en un mismo punto geográfico, entre los años muy húmedos y los años muy secos. En Minas de Matahambre, Pinar del Río, la diferencia es de sólo 18%, mientras en Caimanera este indicador es del 54%; o sea en un año seco llueve menos de la mitad de lo que cae en un año húmedo. En las montaña del Pico Turquino en el Oriente de Cuba (que se eleva a casi 2000 m s.n.m.m.) precipitan hasta 2600 mm; en Pico San Juan, en las Alturas de Trinidad o Centro del país (con alrededor de 700 m de altura menos) cae casi la misma cantidad de lluvia, 2400 mm. En cambio, en la montaña del Pan de Guajabón (con menos de 800 m de altura) las lluvias alcanzan hasta los 2800 mm anuales. Otro tema es el de los meses del año en que más llueve en las distintas provincias del país: Junio prevalece sobre los restantes en la región Centro, además de en las antiguas provincias habaneras, en Camagüey y Las Tunas. Mayo, sin embargo, es el mes más beneficiado en Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo mientras; Septiembre lo es en Pinar del Río e Isla de la Juventud y; Octubre predomina en Holguín.

Alrededor del 67% del territorio cubano está compuesto por complejos de rocas carbonatadas, en gran medida carsificadas y con un alto grado de acuosidad (entre 10-300 l/s); un 11% de rocas cársicas también acuíferas, con una acuosidad variable entre 1-10 l/s; el complejo de rocas vulcanógenas abarca aproximadamente el 15%, con una acuosidad baja de 1 l/s; 5,9% de rocas ultrabásicas, con una acuosidad media, presentando distintos gastos, de hasta 1 l/s. En zona de intemperismo, hasta 5-10 l/s, y a veces más en las zonas de fracturas. El subsuelo y los lechos fluviales del país lo constituyen en su gran mayoría sales de calcio, como rocas calizas y las dolomías o calizas dolomíticas,

sales que son capaces de disolverse en el agua que entra en contacto, alterando su contenido salino.

Un factor de suma importancia es también la condición de insularidad de Cuba, que determina una interacción permanente con las aguas marinas y costeras, equilibrio que puede afectarse por causas antropogénicas, aumentando el contenido de sodio y cloruro en aguas subterráneas y superficiales.

En las zonas carsificadas se localizan las 165 cuencas, zonas y tramos hidrogeológicos más importantes, los cuales cuentan con abundantes recursos y un área acuífera efectiva elevada. En 86 de estas cuencas se almacena el 77% del volumen total de agua subterránea y, de ellas 16 son cerradas y 70 abiertas al mar, por lo que más del 80% tienen problemas de intrusión salina.

En el caso particular de Cuba, los recursos hídricos subterráneos son una importante fuente de abastecimiento de rápida utilización y bajo costo de inversión y explotación, en comparación con las obras hidráulicas superficiales. Dicha importancia está asociada, fundamentalmente, a las siguientes razones:

- En primer lugar, la representatividad de las rocas calcáreas (calizas carsificadas), muy permeables y con una conductividad hidráulica grande, existiendo “un carso de llanura”, donde se asientan las principales cuencas subterráneas, que almacenan el 27% de los recursos hídricos disponibles totales.
- Gran espesor saturado de rocas calizas, generalmente hasta cientos de metros, lo que garantiza una columna de agua más que suficiente para la explotación y volúmenes almacenados como reservas.
- La poca profundidad al agua, conocida como niveles estáticos, donde el 90% de las unidades hidrogeológicas lo presentan con menos de 25 m
- Los caudales o gastos de los pozos son realmente altos, generalmente más de 100 l/s, a menudo 200-300 l/s, con abatimientos muy pequeños, comúnmente menores de 1-2 m y pocas veces de varios metros.
- Poca profundidad de los pozos (generalmente menor de 50 - 60 m, pocas veces hasta 80 - 100 m) para lograr caudales de múltiples usos; o sea, poco “metraje” de perforación
- Poca complejidad en la perforación, al generalizarse el “esquema” de camisa en la zona de suelo o de cobertura y sin camisa en la zona de calizas, por ser rocas duras.
- La buena calidad del agua, en general, con una mineralización total promedio de 0.5 g/l SST, del tipo bicarbonatada cálcica. En general, algunos problemas con la dureza de las aguas, algo elevada y problemas también con el contenido de nitratos en algunas zonas.
- Una amplia utilización, pues alrededor del 50% del recurso hídrico en explotación total en el país, es de origen subterráneo; en abasto a población, más del 70% del total explotado en Cuba, es agua subterránea. Hay provincias enteras con este abasto sólo de aguas subterráneas.

Como consecuencia directa, muchos acuíferos se han explotado intensamente, a veces excesivamente, alterando en ocasiones la condición de equilibrio natural y dinámico de los mismos y; atentando contra la calidad y cantidad de sus reservas.

De todo ello resultó que se desarrollarán en el país potentes redes de monitoreo para la observación y medición de los niveles de las aguas subterráneas y su composición hidroquímica. También es importante señalar que prácticamente todo el territorio nacional está estudiado con investigaciones de diferentes grados (esquemas generales, esquemas precisados, levantamientos hidrogeológicos de diferentes categorías, evaluaciones de reservas y recursos, etc.) lo que permite afirmar que la línea base o características fundamentales se conoce con detalle.

Debido al marcado régimen hidrológico de Cuba (seis meses de período húmedo y seis meses de período menos lluvioso o seco), la recarga o alimentación a los acuíferos se produce en el período lluvioso. De esta lámina, se infiltra como promedio el 30%, estando el entorno más probable entre el 20 y el 40%, aunque hay zonas cársicas con valores superiores.

La distribución de estos recursos no es igual, equitativa, en todo el territorio nacional. Así, la zona occidental (Pinar del Río, Artemisa, La Habana, Mayabeque, Isla de la Juventud y Matanzas) es la que presenta un mayor peso o volumen de aguas subterráneas (50% de los recursos potenciales totales subterráneos y 60% de los recursos disponibles evaluados). Hay provincias completas que prácticamente dependen del agua subterránea de forma exclusiva (Matanzas, Ciego de Ávila, y; gran parte de Artemisa, Mayabeque y La Habana), las que presentan el 53 y 64% de los recursos antes citados. Otras provincias, como la mayor parte de las orientales y algunas centrales, tienen su principal recurso en las aguas superficiales, aunque en algunos casos ambos recursos, superficiales y subterráneos, tienen un amplio aprovechamiento. La Región Central, desde Villa Clara hasta Camagüey, presenta el 28 y 34% de los recursos subterráneos totales y disponibles, respectivamente, quedando para la Región Oriental el 22 y 6%, respectivamente.

La calidad es la condición general que permite que el agua se emplee para los usos concretos a que esté destinada. La calidad de las aguas superficiales y subterráneas se deteriora, por ejemplo, al no adoptarse las medidas de tratamiento y reuso de las aguas residuales domésticas que se generan.

Debido al predominio de los fenómenos cársicos y en ausencia de fenómenos antrópicos que puedan causar impactos negativos en su calidad, las aguas tanto superficiales como subterráneas, se clasifican generalmente como bicarbonatadas cálcicas o magnésicas en dependencia del contenido de calcio o de dolomitas presentes en las formaciones geológicas en contacto durante el transporte del agua en su ciclo hidrológico. Las sales solubles totales de las aguas subterráneas pueden variar normalmente entre 500 y 1000 mg/l.

Aquellas cuencas subterráneas cuyas aguas estén en relación hidráulica con el mar, dependiendo de su manejo y administración, sus características pueden

variar de bicarbonatadas cálcicas o magnésicas a clóricas sódicas o bicarbonatadas-clórico sódicas, elevándose sus tenores de salinidad hasta cifras muy superiores a 1 gramo por litro de sales solubles totales.

El desarrollo hidráulico alcanzado entre los años 1960 y 2000, ha permitido elevar la capacidad de embalse en alrededor de 200 veces, en función de garantizar las crecientes demandas producto del incremento de las áreas agrícolas bajo riego y; del suministro seguro de agua y saneamiento que satisfaga las necesidades de una población en crecimiento. Lo anterior ha contribuido a lograr un impacto positivo en los altos niveles de salud de la población y baja mortalidad infantil, a elevar el desarrollo industrial y turístico, así como a la protección del medio ambiente.

A partir de la infraestructura hidráulica creada, los Recursos Hidráulicos a disposición de las demandas económicas, sociales y ambientales del país, ascienden 13668 millones de metros cúbicos anuales, equivalentes al 57% de los recursos aprovechables. Se cuenta en la actualidad con 240 embalses, los que almacenan cerca de 9 mil millones de metros cúbicos. A ello se unen 61 derivadoras, 805 micropresas, 788.4 km de canales magistrales, 12 grandes estaciones de bombeo, 1300.4 km de diques y 1009.2 km de canales para la protección contra inundaciones.

Basado en el período histórico 1931-1972, se evalúan los Recursos Hídricos Potenciales del Archipiélago Cubano en un total de 38139 millones de metros cúbicos, de ellos: 6400 millones subterráneos y los restantes 31683 superficiales. Los Recursos Hídricos Aprovechables se evalúan en alrededor de 23988 millones de metros cúbicos anuales, correspondiendo el 75% a las aguas superficiales y el 25% a las subterráneas.

## **4.2. Escenarios hidrológicos para 2050 y 2100.**

### **4.2.1. Recursos hídricos superficiales**

Para el análisis de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos superficiales se utilizó como referencia histórica la línea base del comportamiento de las variables del ciclo hidrológico comprendiendo los años del período 1961-1990. La Tabla 4.1 muestra el valor de los componentes de la ecuación general de balance hídrico para dicho período, a escala de país y de regiones naturales. Estas cifras muestran una disminución en el potencial hídrico del país, en un 15%, con relación a las estimaciones consideradas tradicionalmente como referencia histórica para ciertos análisis y proyecciones globales (38100 Hm<sup>3</sup>, período 1931-1972).

El balance hídrico resumen para los períodos 2021 - 2050 y 2071 - 2100 fue calculado para los escenarios de emisión *SRESA2* y *SRESB2*, utilizando como base las tendencias de los datos de temperatura y precipitación obtenidos con los

modelos climáticos *ECHAM4* y *HadAM3P*. Sus resultados se muestran a continuación en las Tablas 4.2 a 4.5.

Tabla 4.1. Balance hídrico anual del país. Línea base 1961 - 1990

Variables	Cuba	Región Occidental	Región Central	Región Oriental
<b>P (anual)</b>	1326	1307	1279	1414
<b>P (p. húmedo)</b>	992	1091	979	880
<b>E</b>	1712	1720	1728	1679
<b>ETP</b>	1032	1008	1024	1073
<b>Q</b>	294	299	255	341
<b>W</b>	32463	9486	10754	12488

*P*: Lámina de precipitación (mm) calculada por el método de las isoyetas (datos de la Red Básica Nacional).

*ETP*: Lámina de evapotranspiración real (mm), obtenida por la Fórmula de Turc (Sokolov y Chapman, 1981).

*E*: Lámina de evaporación potencial (mm), Fórmula de Turc (Sokolov y Chapman, 1981)

*Q*: Lámina de escurrimiento (mm) obtenida por ecuación de balance hídrico.

*W*: Volumen potencial de recursos hídricos (Hm<sup>3</sup>).

Tabla 4.2. Balance hídrico anual según: Modelo ECHAM4, Escenario SRESA2.

	Cuba		Región occidental		Región central		Región oriental	
<b>Año</b>	<b>2050</b>	<b>2100</b>	<b>2050</b>	<b>2100</b>	<b>2050</b>	<b>2100</b>	<b>2050</b>	<b>2100</b>
<b>P (anual)</b>	1303	1093	1281	1033	1262	1061	1385	1209
<b>P (p. húmedo)</b>	1009	866	1166	988	977	835	845	744
<b>E</b>	1884	2189	1876	2179	1905	2212	1864	2170
<b>ETP</b>	1054	963	1022	908	1049	954	1101	1042
<b>Q</b>	248	130	259	125	213	107	284	167
<b>W</b>	27446	14332	8219	3964	8994	4508	10395	6117

Tabla 4.3. Balance hídrico anual según: Modelo ECHAM, 4 Escenario SRESB2

	Cuba		Región occidental		Región central		Región oriental	
Año	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
P (anual)	1232	1209	1158	1064	1199	1197	1369	1401
P (p. húmedo)	968	939	1094	980	934	948	847	874
E	1884	2055	1882	2047	1904	2077	1860	2034
ETP	1014	1024	955	917	1011	1033	1091	1142
Q	218	185	203	147	188	164	278	259
W	24105	20400	6448	4666	7934	6919	10174	9480

Tabla 4.4. Balance hídrico anual según: Modelo HadAM3P, Escenario SRESA2.

	Cuba		Región occidental		Región central		Región oriental	
Año	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
P (anual)	1247	1097	1247	1145	1210	1091	1300	1067
P (p. húmedo)	907	750	1006	862	897	746	788	604
E	1863	2176	1864	2161	1884	2203	1834	2154
ETP	1022	967	1006	987	1015	974	1053	946
Q	225	130	241	157	196	117	246	121
W	24867	14370	7639	4989	8254	4951	9019	4420

Tabla 4.5. Balance hídrico anual según: Modelo HadAM3P, Escenario SRESB2.

	CUBA		Región Occidental		Región Central		Región Oriental	
Año	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
P (anual)	1321	1323	1327	1367	1279	1284	1370	1315
P (p. húmedo)	949	895	1036	975	953	922	826	752
E	1869	2056	1868	2041	1891	2081	1841	2034
ETP	1059	1086	1038	1075	1055	1086	1092	1092
Q	261	237	290	291	224	198	278	223
W	28865	26200	9177	9232	9461	8356	10177	8169

Se observa en las Tablas 4.2 y 4.3, de forma general tanto para el territorio nacional como para las regiones, una disminución marcada y progresiva de las precipitaciones, con estimados de alrededor de -10% para el horizonte 2050 y -20% para el 2100.

Según el modelo ECHAM4, la precipitación nacional descendería hasta los 1232 mm (SRESB2) para el período 2021 – 2050 y los 1093 mm (SRESA2) para el período 2071 - 2100. A la disminución de los promedios de precipitación, se aparea un aumento, también notable, de la evaporación potencial. Como consecuencia de dichos factores, los recursos hídricos potenciales podrían verse reducidos en comparación con la línea base hasta un 26% (SRESB2) para el 2050 y hasta un 56% para el 2100, a juzgar por SRESA2. Habrá, además, una disminución sensible de la evapotranspiración por el déficit de agua en los suelos. Desde el punto de vista regional, la situación se presenta más intensa hacia el occidente del país.

Para el caso del modelo HadAM3P (Tablas 4.4 y 4.5) se observa, un decrecimiento de la precipitación en el tiempo, con valores significativos de 1247 mm para el 2050 y los 1097 mm para el 2100 según el escenario SRESA2, aunque no se estima prácticamente reducción alguna para el escenario SRESB2. Se refleja una disminución progresiva en el tiempo de la disponibilidad de recursos hídricos, aunque menos acentuada que en el modelo HADCM2, también influida por el aumento de la evaporación potencial. A diferencia del modelo HADCM2, la situación es más desfavorable para la Región Oriental.

#### **4.2.2. Recursos hídricos subterráneos**

Para las estimaciones del impacto del cambio climático en el agua subterránea se adoptan los rangos de disminución en la precipitación de los meses lluviosos obtenidos con el Modelo HADCM2 (-10% para el año 2050 y -25% para el 2100), así como los valores de ascenso promedio del nivel del mar calculados para el Macroproyecto “Escenarios de peligro y vulnerabilidad de la zona costera cubana, asociados al ascenso del nivel medio del mar para los años 2050 y 2100” del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente: 0.27 m para el horizonte 2050 y 0.85 m para el 2100.

Si el nivel medio del mar (nmm) para el año 2050 asciende a 0.27 m por encima del actual, provocaría que la línea de costa se desplace, en las zonas muy bajas, aproximadamente 800 - 1500 m tierra adentro desde su actual posición, lo que afectaría a muchas de las cuencas subterráneas del país, ya que la mayoría se encuentran en las llanuras costeras de Cuba, fundamentalmente al sur, en áreas de muy baja cota topográfica. Incluso, el fenómeno de subsidencia geológica, que se manifiesta en algunas cuencas, precisamente en el sur de la isla, agravaría la situación de éstas, lo cual deberá estudiarse con detalle en el futuro.

La zona salinizada que actualmente alcanza la superficie de los acuíferos, donde la mezcla de aguas dulces-saladas ya llega al nivel estático, penetrará entonces tierra adentro, a distancias variables, en el orden mínimo de 1-2 km en dependencia de la intensidad y forma del bombeo, la ubicación de los pozos, etcétera.



Estas dos primeras valoraciones tienen incidencias inminentes en los usuarios asentados directamente en la franja costera, como pueden ser instalaciones turísticas y acueductos. Sin embargo, las afectaciones mayores estarán en la profundidad hasta la cuña de intrusión, la que tendrá varias opciones:

- “Se mantendrá la posición” de la cuña, aún con una nueva posición del nmm pues este cambio será muy lento, y el sistema mantendrá sus leyes y relaciones más o menos como hasta ahora, considerando un acuífero en régimen normal (lluvia media alrededor de la norma y extracción normal). Sin embargo, hay que observar el desenvolvimiento de estos mecanismos, pues si los volúmenes de extracciones superan los actuales y llegan al máximo posible, es probable que se alteren también estas leyes y relaciones conocidas.
- ascenso de la cuña salina bajo un estado desfavorable del acuífero, debido a un déficit de lluvia del orden del 10%, con un aumento del nmm y la extracción en estado medio o normal.
- ascenso de la cuña salina bajo un estado desfavorable del acuífero, debido a un déficit de lluvia del orden del 10%, con un aumento del nmm y con el incremento de la extracción hasta el máximo permisible.

Con estas variantes de afectación, el futuro impacto (como ascenso vertical) para el año 2050 se puede describir como sigue:

1. Considerando, según la ley de equilibrio general, que la posición del agua de mar se encuentra por cada metro de carga de agua dulce por encima del nmm a 40 m o más de profundidad por debajo de la cota 0 y; que la interfaz agua dulce – agua salina (l g/l de SST), que es el límite que primero afecta, se encuentra como promedio entre los 20 y 30 m por debajo de la cota 0, se deben esperar:
  - no ascenso de la cuña (o quizás ligeras variaciones) para el primer caso.
  - no menos de 14-16 m de ascenso de la cuña para el segundo caso.
  - no menos de 16 m de ascenso de la cuña para el tercer caso.

Para el año 2100, un ascenso del nivel medio del mar (nmm) de 0.85 m por encima del actual, provocaría que la línea de costa se desplace, como promedio, 6 km en aquellas zonas muy bajas al sur de las provincias occidentales y; 3 km en las zonas bajas del sur de las provincias centrales y orientales.

El aumento del nivel del mar de conjunto con la disminución de los niveles de agua dulce asociados, fundamentalmente, a una reducción del 25% de los acumulados de precipitación en el período húmedo, provocarían una penetración de la zona salinizada en el entorno de los 4 - 5 km. Mientras, en el sentido vertical se esperaría un ascenso de la cuña de intrusión salina de: no menos de 19 a 21 m de ascenso de la cuña para el caso de extracción en estado medio o normal y;

no menos de 22 m de ascenso de la cuña para el caso de máxima extracción permisible.

Cualquiera de estas variantes podría implicar reducción significativa de la entrega de agua subterránea y en acuíferos costeros poco potentes podría representar incluso el cese del bombeo, por la salinización definitiva de sus reservas. Como se aprecia en las cifras antes mencionadas, si el “techo” de la cuña se encuentra como promedio entre los 20 – 30 m. por debajo de la cota 0, entonces está claro que dichas cifras son comprometedoras para aquellos acuíferos de cotas muy bajas y/o con poco espesor saturado.

### 4.3. Vulnerabilidades e impactos

Es muy amplia la documentación internacional y nacional relativa a las evidencias del cambio climático y su impacto en la economía, sociedad y medio ambiente y en particular, sobre los recursos naturales y dentro de ellos, los recursos hídricos.

Desde un punto de vista general, las páginas web del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) y de su Agencia de Medio Ambiente; del Instituto de Meteorología y otras; así como de la Secretaría de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático y de su Programa de Trabajo de Nairobi; de la FAO; de Ministerios de Medio Ambiente de Latinoamérica y del Caribe y muchas otras, tanto gubernamentales como no gubernamentales, investigativas, docentes y académicas, reflejan la actualidad y los problemas, así como medidas de adaptación, de mitigación y de reducción de vulnerabilidades, ante el impacto negativo de este fenómeno de carácter antrópico. Así también lo demuestran la elaboración y entrega de la Primera Comunicación Nacional de Cuba (2000), cumpliendo con los compromisos contraídos como país en desarrollo firmante de la Convención Marco de las Naciones Unidas.

Aun teniendo en cuenta el reconocido hecho de la interactividad y sinergia de los probables impactos sobre el recurso agua y de éstos con otros componentes sociales, económicos y ambientales ahora aplicado al contexto cubano, pueden distinguirse determinados agrupamientos de estos impactos con propósitos de su ordenamiento y clasificación. Se identifican:

#### *A. Con mayor incidencia relativa en las disponibilidades cuantitativas del recurso agua:*

1. Cambios en los patrones de comportamiento de las precipitaciones, que es en el caso de Cuba, su principal fuente renovable anual del recurso agua. Así lo indican los resultados del Nuevo Estudio de la Pluviosidad en Cuba, que abarcó el período 1961 – 2000 (Nuevo Mapa Isoyético 1961 – 2000). La nueva lámina media anual para todo el Archipiélago bajó de 1375 mm a 1335 mm.
2. Modificaciones en la dinámica de la relación hidráulica de los acuíferos costeros con el mar, principalmente en la Llanura Sur de la Isla principal, lo

que puede traer aparejado un deterioro de la calidad de las aguas subterráneas presentes en tales formaciones por el incremento de su contenido salino y en consecuencia, cambios en las cantidades del recurso que pueden estar disponibles para los diferentes usos (abasto a población, agricultura, y otros).

3. Ambos aspectos señalados en los puntos 1 y 2, pueden influir directamente en la disminución relativa de las disponibilidades de agua, tanto superficial como subterránea, haciéndose más agudas dependiendo de su localización. Sin embargo, en términos nacionales, ya hay evidencias de esa disminución, a partir de los nuevos valores de las precipitaciones.
4. Aparición paulatina de zonas con carencias relativas del recurso agua, que en la actualidad no la padecen, quedándose sin satisfacer las necesidades del recurso para la economía, sociedad y la protección del medio ambiente.
5. Nuevos y más agudos conflictos en el uso de las aguas embalsadas, principalmente entre su uso agrícola y acuícola, al competir éstos y tener menores alternativas de disponibilidades de agua.

### *B. Con mayor incidencia en la ocurrencia de eventos extremos.*

6. Ocurrencia de cambios en la aparición de desastres causados por fenómenos naturales, sobre todo los relacionados con los ciclos de sequías, tanto meteorológica, como hidrológica, hidráulica y socio-económica, con afectaciones al medio ambiente, la economía y la sociedad, así como de la presencia de huracanes, si bien estos últimos tienen como único impacto positivo la recarga del recurso en períodos cortos de tiempo. Evalúese lo ocurrido en 2005, con la presencia de seis perturbaciones ciclónicas que incidieron de manera directa e indirecta en el territorio nacional, luego del período seco 2003 – 2005.
7. Cambios complejos en la dinámica de las relaciones de los principales componentes ambientales (agua – suelo – bosques – aguas costeras) en los ecosistemas de mayor interés (cuencas hidrográficas, zonas montañosas, bahías, humedales, zonas costeras y otros), con la ocurrencia de modificaciones en su estructura y características, lo que puede incidir en el aumento relativo de la vulnerabilidad del país ante eventos extremos.
8. Modificaciones a considerar en la actual infraestructura de prevención y protección hidrológica ante eventos de intensas lluvias (canales, diques, aliviaderos) con probables afectaciones también a la economía y a la sociedad, dado los cambios en los patrones de referencia y su incidencia en el diseño original.

### *C. Con mayor incidencia en el deterioro de la calidad del agua:*

9. Incidencia de las variaciones de las disponibilidades de agua, en las condiciones sanitarias y el cuadro epidemiológico general y específico, dependiendo de las características de estos cambios, llegando incluso al

aumento de la morbilidad de diarreas agudas (EDA) u otras, como resultado de bajas disponibilidades de agua y problemas con su calidad.

10. En lo anterior puede influir también, el agravamiento de las condiciones sanitarias de las corrientes superficiales que atraviesan núcleos urbano-industriales y que se emplean como cuerpos receptores de residuales crudos o parcialmente tratados – cuestión muy frecuente en todo el territorio nacional - , como resultado de la disminución relativa de sus caudales originales y la disminución de sus capacidades de autodepuración naturales.
11. Repercusión de todos estos factores objetivos y tangibles, en los hábitos y costumbres del consumo de agua por la población cubana, al manifestarse variaciones de sus Bibliografía actuales, tanto por exceso como por defecto, incrementándose su sensibilidad y vulnerabilidad ante estos fenómenos.

#### **4.4. Medidas de adaptación**

En agosto de 2007, el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) elaboró su primer paquete de medidas denominadas “Acciones del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos ante el impacto de los cambios climáticos en los recursos hídricos del país”, el que fue remitido al Gobierno del país. Luego de sucesivas actualizaciones en los años 2008 y 2009, ha sido definitivamente incluido dentro del “Programa de Enfrentamiento al Cambio Climático” coordinado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

De acuerdo con el Programa de Trabajo de Nairobi sobre el impacto, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático (UNFCCC 2007), se identifican 9 áreas de acciones fundamentales:

- *Desarrollo e implementación de metodologías e instrumentos para la evaluación.*
- *Mejoramiento de las observaciones del comportamiento de las variables hidrológicas y climáticas, así como de su procesamiento, acceso, intercambio y manejo.*
- *Modelamiento del comportamiento del clima según escenarios.*
- *Clima, riesgos y eventos extremos, su comprensión y evaluación de influencias para el desarrollo sostenible.*
- *Información socio-económica y sus relaciones con las evaluaciones del impacto y vulnerabilidades.*
- *Planeamiento de medidas de adaptación y empleo de prácticas exitosas.*
- *Investigaciones*
- *Introducción de tecnologías para la adaptación*

- *Diversificación económica en función de disminuir el impacto y las vulnerabilidades.*

En el caso cubano puede afirmarse que la principal garantía para enfrentar con éxito los efectos negativos del cambio climático sobre los recursos hídricos y la aplicación consecuente de medidas de adaptación, es el desarrollo hidráulico alcanzado y en proceso de sistemática ampliación, mantenimiento y observación, que ha permitido asegurar las necesidades del recurso agua para el desarrollo sostenible del país. El conjunto de medidas de adaptación que a continuación se relacionan, muchas de ellas en ejecución en estos momentos por parte del sistema INRH, conforman un paquete de acciones de alcance político y de gestión, encaminadas a introducir o a ampliar la introducción de soluciones paulatinas al reto de los impactos del cambio climático sobre el recurso agua.

- *Introducción de tecnología para la adaptación:*

1. Ejecutar con calidad y en el tiempo previsto, las nuevas inversiones destinadas a incrementar la satisfacción de las necesidades del recurso para la economía, sociedad y medio ambiente, con particular atención a la renovación y rehabilitación de las redes de acueductos en las ciudades seleccionadas, obras del Trasvase Este – Oeste Holguín, nuevos acueductos y completamiento de otros, tanto desde el punto de vista emergente como estratégico.

Al cierre de 2008, se habían concluido 95 obras en las 14 provincias y el Municipio Especial Isla de la Juventud, principalmente nuevos acueductos, nuevas plantas potabilizadoras, redes (856 km) y conductoras (111 km), alcantarillado y drenajes, rehabilitación de presas. Su impacto directo en la calidad de vida de la población, se expresa en que, al cierre de 2008, hubo un incremento de la conexión intradomiciliaria de 7987012 a 8142300 habitantes y de servicio de alcantarillado, de 3996000 a 4119500 habitantes.

2. Disminuir las pérdidas de agua en redes y conductoras de acueducto, canales y equivalentes (riego) y su rehabilitación y renovación, mediante la introducción de tecnología apropiada, como expresión de un incremento en la eficiencia del uso del recurso agua en la economía, sociedad y la protección del medio ambiente, lo que trae aparejado incrementos relativos de las disponibilidades del recurso.

En línea con el incremento paulatino de la eficiencia en el uso del agua, así como su cuantificación adecuada, se instalaron en el 2009 un total de 29000 metro contadores para el sector estatal, así como 250000 para el sector residencial, de un total de 400000 previstos para una primera etapa. En el mismo sentido se inscribe la adquisición de membranas impermeabilizantes (mantas) para revestir canales y lagunas de tratamiento, disminuyendo respectivamente, pérdidas por conducción, así como la infiltración de residuales a las aguas subterráneas.

3. Elevar la eficiencia en el mantenimiento de la importante infraestructura hidráulica creada, así como en la administración del agua empleada para los diferentes usos económicos, sociales y ambientales.

Para el año 2009 estaban diagnosticadas con diferentes grados de afectación un total de 156 obras conformadas por: 110 embalses, 25 derivadoras, 30 canales y una laguna de estabilización. En resumen, de las 156 obras del diagnóstico, se terminaron 101, quedando pendiente al cierre del 2009 un total 55 obras.

Para el año 2009 se balancearon un total de 8014.5 hm<sup>3</sup>, de ellos 5241.2 hm<sup>3</sup> superficiales y 2773.3hm<sup>3</sup> subterráneos. De las aguas superficiales se balancearon 4727.3 hm<sup>3</sup> reguladas que representan el 66.6% del potencial de la entrega garantizada nacional. Se tienen 67 presas en Prevención Hidrológica, lo cual limita la posibilidad de embalsar 1190 hm<sup>3</sup>.

De las Aguas Superficiales, hasta septiembre 2009, se había entregado un volumen de 4089.7 hm<sup>3</sup> que representan el 105% del plan para la fecha. Este volumen representa el 78% del Plan Anual. Mientras, de las aguas reguladas se habían entregado 3875.4 hm<sup>3</sup> que representan el 108% del Plan hasta septiembre y el 82% del Plan Anual.

De las Aguas Subterráneas hasta septiembre, se habían entregado 1643.4 hm<sup>3</sup> que representan el 79.4% del Plan para la fecha y el 59.4% del Plan Anual.

Cumpliendo con lo establecido en la metodología de elaboración del Plan de Uso de las Aguas, para 2009 en nueve (9) Cuencas de Interés Nacional, se planificó emplear 2175,903 millones m<sup>3</sup>, 1843994 superficiales (84.7%) y 132824 subterráneos (6.1%) y 125039 (5.7%) destinado a gasto sanitario, entre otras asignaciones.

- *Mejoramiento de las observaciones del comportamiento de las variables hidrológicas y climáticas, así como de su procesamiento, acceso, intercambio y manejo*

4. Modernizar y fortalecer la capacidad de observación de los componentes cualitativos y cuantitativos del ciclo hidrológico (red pluviométrica, pluviográfica, hidrométrica, hidrogeológica, batometría, de calidad) para lo cual ya se ejecutan acciones concretas entre las que se pueden relacionar:

Fabricación de pluviómetros, evaporímetros y otros equipos, para el trabajo de campo, así como regletas, en proceso de puesta a punto definitiva a partir del 2009.

Aprobación y comienzo de la ejecución del proyecto PNUD-INRH de Alerta Temprana y Prevención Hidrológica en las cuencas Ténima-Jatibonico, Cauto, Sagua de Tánamo y Guantánamo-Guaso y; la instalación y operación en 2009-2010, de 35 estaciones automáticas de medición y transmisión de datos e informaciones sobre lluvia, niveles y gastos.

Aprobación y comienzo de las actividades del proyecto Caribe-HYCOS para el fortalecimiento de las observaciones del ciclo hidrológico en 8 estaciones, comenzando en 2009 por Los Portales (Cuyaguajay), Yayabo, Paso Ventura (Zaza) y Las Coloradas (Cauto), lo que también permitirá obtener mediciones automáticas de lluvia, niveles, gastos y calidad de agua.

Elaboración del diseño de una nueva Red Informativa Diaria de Lluvia (775 estaciones), con la que se pretende ampliar la representatividad y eficiencia de la hasta ahora existente, así como fortalecer el rol de las instalaciones de observación del sistema del INRH.

- *Desarrollo e implementación de metodologías e instrumentos para la evaluación.*
- 5. Re-evaluar sistemáticamente los actuales recursos hidráulicos disponibles cubanos (Referencia 2002: 13.67 kilómetros cúbicos, que equivale a 57% de los recursos aprovechables) para decidir el Plan Anual de Uso de las Aguas del país, a partir fundamentalmente de:
  - Los nuevos estudios de la lluvia en Cuba,
  - La re-evaluación de los volúmenes útiles de los embalses cubanos mediante estudios batimétricos, habida cuenta de que en el 86% de los casos tienen más de 25 años de construidos y el 56% de ellos, más de 30 años,
  - Las nuevas estimaciones de los recursos disponibles en los acuíferos subterráneos,
  - El empleo de los resultados de las redes de observación del ciclo hidrológico,
  - Los avances en la eficiencia en el uso de las aguas, principalmente en el riego (60%) y la destinada a la población (15%),
  - Los incrementos en el reuso de las aguas residuales tratadas.

El INRH implementa diferentes acciones sobre lo anteriormente descrito, algunas de ellas en el contexto de proyectos nacionales. Está en marcha un programa de estudios en embalses cubanos relacionados con la evaluación de sus niveles de sedimentación y azolvamiento así como las evaluaciones sistemáticas que se realizan del comportamiento de la lluvia, aplicando los resultados del último Estudio de la Pluviosidad en Cuba 1961 – 2000.

Se viene alcanzando resultados en los incrementos del reuso de aguas residuales tratadas, principalmente asociados a los Polos Turísticos y dentro de ellos, el de Varadero, Cayo Coco y Cayo Santa María, en ese orden.

De manera sistemática se mantiene el control del comportamiento de las 100 principales unidades hidrogeológicas del país, mediante las lecturas de sus niveles mensuales, así como del monitoreo estacional mediante la Red de Calidad de las Aguas (RedCal) tanto al final de la temporada menos lluviosa como de la lluviosa.

En el año 2009, la Red Hidrogeológica funcionaba con un universo de 1683 estaciones y la Red de Calidad de las Aguas, operada nacionalmente por el INRH, estaba constituida por 2315 estaciones, de ellas 1649 básicas y 666 de vigilancia. De su total, 816 son superficiales y 1499 subterráneas. Del total de las estaciones básicas, 1228 son subterráneas y de ellas, 1147 estaciones para evaluar la calidad de las fuentes destinadas al consumo humano. Esto ha permitido evaluar sistemáticamente y de manera operativa a nivel territorial, la calidad de las aguas del país, tomándose las decisiones oportunas.

6. Aplicar al caso cubano, con datos e informaciones nacionales que permiten ajustar aún más sus resultados, los nuevos indicadores sobre disponibilidad de agua existentes en la literatura internacional, tales como la Huella Hídrica, Agua Virtual, Indicador de Estrés Hídrico, trascendiendo paulatinamente el uso del indicador relacionado con el total de recursos hídricos potenciales respecto a los habitantes del país.
- *Investigaciones*
    7. Implementar proyectos de ciencia e innovación tecnológica en cuencas y otros ecosistemas vulnerables, con el objetivo de perfeccionar la prevención y protección hidrológica.
    8. Desarrollar los estudios necesarios para la introducción de las modificaciones a los proyectos de obras hidráulicas, a tenor de los nuevos impactos que se producirán por los cambios climáticos.
    9. Re-evaluar o evaluar, según corresponda, las actuales potencialidades hídricas en función de incrementar el empleo de la hidroenergía en el país, con especial atención a las áreas montañosas.
  - *Planeamiento de medidas de adaptación y empleo de prácticas exitosas*
    10. Continuar profundizando en la aplicación del enfoque de ecosistema a la gestión integrada del recurso agua, teniendo como unidad básica de gestión, la cuenca hidrográfica. Fortalecer el funcionamiento y alcance de los Consejos de Cuencas.
    11. Reducir paulatinamente la carga contaminante que se dispone en los cuerpos receptores superficiales y subterráneos, mediante la construcción de sistemas de tratamiento y elevar el reuso de las aguas residuales tratadas, con lo que se incrementan de manera relativa las disponibilidades de agua para usos que requieren de mayor calidad.



Dependencias del ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente realizan la evaluación de la disminución de la carga contaminante de origen orgánico y biodegradable que se dispone en los cuerpos receptores, a partir del Inventario de Fuentes Contaminantes del medio ambiente que, en su parte correspondiente a las aguas terrestres (2115 fuentes), está conciliado con el INRH. Se desarrollan, tanto a nivel territorial como nacional, acciones conjuntas de gestión y de los cuerpos de inspección del INRH y CITMA, en función de controlar las descargas y exigir el cumplimiento de lo dispuesto.

12. Elevar el reuso económico de residuos sólidos agrícolas y del tratamiento de residuales, para el mejoramiento y conservación de suelos y el mejoramiento de la producción (producción de humus, abonos verdes), evitando su disposición a las aguas superficiales y subterráneas.
13. Fortalecer el papel del aparato de inspección estatal de los recursos hidráulicos, en función del cumplimiento de la legislación vigente y el control de las medidas para su segura administración.

Se cumplen, tanto a nivel nacional como territorial, los planes previstos de la Inspección Estatal del sistema del INRH, con particular atención a las fuentes contaminantes de las aguas terrestres. Se destacan las inspecciones realizadas a los centros porcinos, a los grupos electrógenos y a otros objetivos. De igual manera, la inspección estatal se ocupa de evaluar el cumplimiento del Plan de Uso de las Aguas, el estado de las redes de observación del ciclo hidrológico y el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de residuales, todo lo cual ayuda a la protección y manejo de los recursos hidráulicos y a su gestión integrada en las cuencas. Un resumen general del año, se ofrecerá a su cierre 2009.

14. Promover la introducción de tecnologías apropiadas, tales como la cosecha directa de agua de lluvia y otras, para satisfacer demandas locales del recurso. El 2009 ha representado un importante momento en la promoción e introducción de las prácticas relacionadas con la captación, el almacenamiento y uso directo del agua de lluvia, cuyos resultados se podrán apreciar con mayor claridad en los años venideros. El INRH elaboró metodologías y proyectos para darle esta solución a pequeñas comunidades y casas aisladas, con lo que se contribuye a extender esta tecnología apropiada, según las posibilidades y necesidades.
- *Información socio-económica y sus relaciones con las evaluaciones del impacto y vulnerabilidades*
    15. Elevar el rol de los medios masivos nacionales, provinciales y municipales, en la divulgación y toma de conciencia de que el recurso agua es renovable pero limitado y su empleo debe ser el apropiado, de acuerdo con sus reales disponibilidades, las necesidades económicas y las costumbres de la población. Se amplían y extienden los programas

radiales, televisivos, en la prensa escrita, relacionados con la protección y el desarrollo de los recursos hidráulicos. Se organizan talleres y eventos orientados a ese fin, así como actividades de capacitación. Al cierre del año se podrá contar con una relación detallada de todo lo elaborado al respecto.

16. Elevar la concientización y educación para el uso sostenible del agua en la sociedad, economía y el medio ambiente, mediante la ampliación de las actividades y al alcance del Programa de Ahorro y Uso Racional del Agua (PAURA).

En términos de educación ambiental, dentro del sistema del INRH está establecido el Programa de Ahorro y Uso Racional del Agua (PAURA) el cual tiene entre sus componentes fundamentales el incremento de la divulgación hacia todos los públicos, buscando un aumento de la cultura del uso racional del recurso agua.

Teniendo en cuenta esta meta se han elaborado varios spots publicitarios en la televisión nacional, con el fin de comunicar la importancia del ahorro del agua comenzando con el uso diario. A través del órgano oficial del INRH, la revista *Voluntad Hidráulica*, se han difundido mensajes conteniendo consejos para el ahorro del recurso; se han logrado impresiones de estos mensajes en los pasaportes de los festivales “Santiago Álvarez in memoriam” y de Cine Latinoamericano. Cada territorio cuenta con un plan de acción a nivel territorial que contribuye a la divulgación de la situación hídrica que abarca la participación de especialistas y dirigentes principales en programas de radio dedicados al tema.

Otra de las vertientes que se ha trabajado es la creación de círculos de interés relacionados con el tema agua en todo el territorio nacional, asesorados por especialistas del INRH, en la educación primaria y secundaria. Se ha logrado vincular al tema del uso y la importancia del agua, las ediciones del concurso nacional “Trazaguas” donde los más jóvenes expresan a través de las manifestaciones de cuento, dibujo y poesía, su sentir acerca de qué debemos hacer en el país para cuidar este importante recurso natural renovable pero limitado.

De conjunto con el Ministerio de Educación y el Ministerio de la Industria Básica se han realizado los concursos PAURA en todos los niveles de enseñanza del país y abarcando todos sus municipios.

Dadas las características del sistema de control y seguimiento establecidos en el país para este Programa, el INRH ha rendido cuenta anualmente de su ejecución tanto al Gobierno como al CITMA. El paquete de medidas que conforman las “Acciones...”, se ha visto recreado y aumentado por la sinergia de las acciones que se desarrollan año tras año, en función de asegurar de manera sostenible

tanto la cantidad como la calidad del agua para la economía, la sociedad y el medio ambiente.

#### 4.5. Bibliografía

1. Centro de Hidrología y Calidad del Agua (1996). El agua subterránea en Cuba. Barros Mouriño, O. (sin publicar).
2. Climate Change and Water. IPCC Technical Paper VI. WMO, UNEP. Bates B.C., Kundzewics Z.W., Wu, S., and Palutikof, J.P. Geneva. ISBN 978-92-9169-123-4. June 2008.
3. Dirección de Cuencas Hidrográficas, Servicio Hidrológico Nacional. INRH. Boletín Hidrológico Mensual diciembre 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009. En [www.hidro.cu](http://www.hidro.cu)
4. Fidel Castro Ruz. Reflexión "El Huracán". .31 de agosto de 2008. Periódico Granma.
5. Informe técnico Sobre las medidas de adaptación ante el impacto de los cambios climáticos en los recursos hídricos del país. Enero de 2010. Documento INRH. Archivo Dirección Cuencas Hidrográficas.
6. Programa de Trabajo de Nairobi sobre el impacto, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático (UNFCCC 2007). ISBN 92-9219-036-9
7. Programa Nacional de Ciencia y Técnica (1999). Proyecto "Impacto del cambio global en la dinámica de la intrusión marina": Informe técnico final de la evaluación de las afectaciones en los recursos hídricos subterráneos. Barros Mouriño, Osvaldo.
8. Technical Committee (TEC). Global Water Partnership. Climate Change Adaptation and Integrated Water Resource Management. Policy Brief 5. 2007. Mike Muller (lead author).
9. UNFCCC (2007) Climate Change: Impacts, vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries (Bonn, Germany). IPCC Secretariat.
10. Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental Vol. XXII, No. 4 (2001) Impacto del cambio global en la dinámica de la intrusión marina. Barros Mouriño, Osvaldo y Haydée Llanusa Ruiz. Pág. 21 - 28
11. Revista Voluntad Hidráulica No. 87 - 88 (1998). Variabilidad de la intrusión salina en cuencas costeras cársicas de Cuba. Barros Mouriño, Osvaldo. Pág. 11 – 20. ISSN 0505-9461.
12. Revista Voluntad Hidráulica No. 98 (2006). Experiencias cubanas en la institucionalización del manejo integrado de cuencas. García Fernández, Jorge Mario. Pág. 15 – 28. ISSN 0505-9461.
13. Revista Voluntad Hidráulica No. 98 (2006). Nuevos logros en el estudio de la pluviosidad en Cuba: Mapa Isoyético para el período 1961-2000. Servicio Hidrológico Nacional. Dirección de Cuencas Hidrográficas. INRH. Pág. 2 – 14. ISSN 0505-9461.
14. Revista Voluntad Hidráulica No. 99 (2007). Aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integrada de los recursos hídricos: Aproximación al caso cubano. García Fernández, Jorge Mario. Pág. 2 – 17. ISSN 0505-9461.

15. Revista Voluntad Hidráulica No. 100 (2008). Indicadores globales para la evaluación del uso sostenible del recurso agua: Caso cubano. García Fernández, Jorge Mario y Luis Cantero Corrales. Pág. 12 – 19. ISSN 0505-9461.
16. Revista Voluntad Hidráulica No. 102 (2009). Sobre las medidas de adaptación de los recursos hídricos cubanos ante el impacto de los cambios climáticos. García Fernández, Jorge Mario. Pág. 10 - 19. ISSN 0505-9461. La Habana, Cuba.