

El cambio climático

En la ingeniería civil. ¿Por qué el agua? Perspectivas sobre el cambio climático. Indicadores de impacto en recursos de agua. Cambio climático y recursos de agua. Optimización en la emisión de gases invernadero.

En la ingeniería civil

Referencia

Richard N. Palmer (University of Washington, Seattle, Washington). *The Confluence of a Career: Virtual Droughts, Shared-Vision Planning, and Climate Change*. Editorial. Journal of Water Resources Planning and Management. July/August, 2007. ASCE, USA.

Se trata de la exposición del autor del editorial después de recibir el Premio Julian Hinds 2006. Manifiesta que en sus 30 años de actividad profesional, han sido tres los temas de su interés a los cuales se referirá: toma de decisiones con el auxilio del computador, planeamiento participativo, y el cambio climático global. Resaltaremos sólo lo dicho respecto al último tema.

Manifiesta que desde 1990 ha trabajado en investigaciones para evaluar los impactos del cambio climático. En ese trabajo junto con otros investigadores, ha quedado impresionado por varios hechos que ha llegado a conocer y otros que desconoce. El incremento de los gases invernadero en la atmósfera, los incrementos de temperatura que según estimados conservadores serán de 1.5 F en el 2020 y 3.5 F en el 2040. Cambios importantes en la hidrología del oeste norteamericano, con problemas serios en el abastecimiento de agua, decrecimiento de las zonas de nieve, más frecuentes y severas sequías.

A juicio del autor, los profesionales de la ingeniería civil tienen la obligación de comprender las causas del calentamiento global y tomar el liderazgo en la *mitigación* y *adaptación* a los futuros cambios. Seríamos irresponsables si no identificamos los impactos en el abastecimiento de agua, la demanda de agua, la calidad del agua, las inundaciones y las necesidades nacionales de infraestructura. Está el reto de incorporar este conocimiento en los códigos de diseño para estar preparados para el futuro. Tiene nuestra profesión la obligación de proporcionar una clara visión de los impactos potenciales del cambio climático tanto a la comunidad profesional como al público general.

¿Por qué el agua?

Referencia

Peter Rogers (Harvard University, Cambridge, Massachusetts). *Coping with Global Warming and Climate Change*. Editorial. Journal of Water Resources Planning and Management. May/June 2008. ASCE, USA.

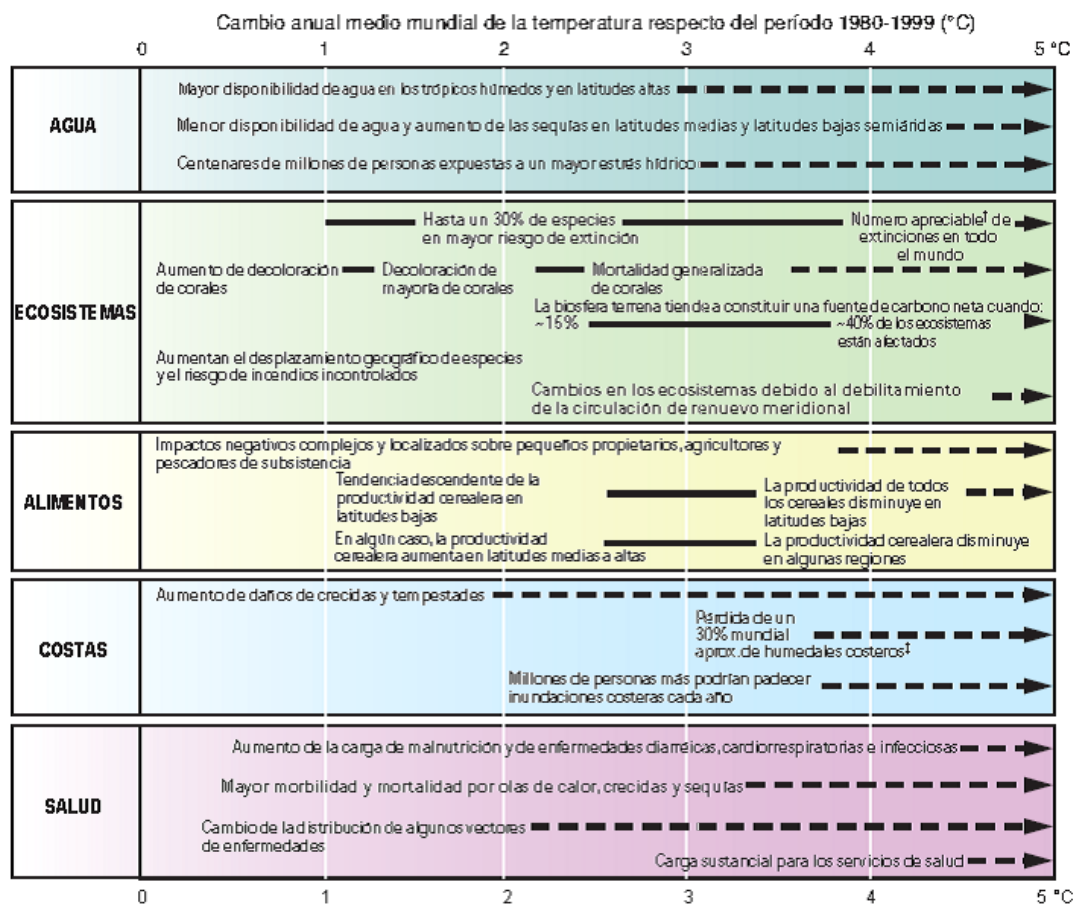
La Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por las siglas en inglés) en 1988. Su función consiste en analizar la información

científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los elementos científicos de riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo. Cuenta con tres grupos de trabajo dedicados a las evaluaciones (I de información climática, II de adaptación, y III de mitigación) y un equipo especial sobre los inventarios de gases de efecto invernadero.

El Panel ha identificado cinco **áreas** claves que serán impactadas por el incremento global de la temperatura promedio: el **agua**, los **ecosistemas**, los **alimentos**, las **zonas costeras**, y la **salud**. Sin embargo, la mayoría de los aspectos involucrados en áreas distintas a la del agua, están vinculados a la misma. Por ejemplo, los impactos en alimentos están relacionados con cambios hidrológicos. La aridez tiene un importante impacto en los alimentos, los ecosistemas y la salud humana.

Perspectivas sobre el cambio climático

Ejemplos de impactos asociados con el cambio anual medio mundial de la temperatura (los impactos variarán en función del grado de adaptación, de la tasa del cambio de la temperatura y de la vía socioeconómica)



† Se entiende por 'apreciable' más de un 40%. ‡ Basado en la tasa promedio de aumento del nivel del mar, es decir, 4,2 mm/año entre 2000 y 2080.

Referencia

IPCC, 2007: *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

El documento de síntesis ilustra en el gráfico ejemplos de impactos proyectados según el promedio mundial del calentamiento en superficie en el siglo XXI. Las líneas en trazo continuo relacionan impactos, las de trazos indican impactos que siguen al aumento de temperatura. La ubicación del texto se correlaciona con el nivel aproximado de calentamiento según la parte inferior. Se han utilizado seis escenarios (sin mitigación) probables de calentamiento para el periodo 2090 - 2099 tomando como referencia el periodo 1980 - 1999. Los niveles de confianza respecto de todas las afirmaciones son altos.

Para América Latina, puede leerse lo siguiente. *Los cambios en las pautas de precipitación y la desaparición de los glaciares afectarían notablemente a la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico.*

Para América del Norte. *En el transcurso del siglo, las ciudades que actualmente padecen olas de calor estarían expuestas a un aumento de estas y de su intensidad y duración, que podría tener efectos adversos sobre la salud. Las comunidades y hábitats costeros tendrían mayores dificultades, debido a la interacción de los efectos del cambio climático con el desarrollo y la polución.*

Indicadores de impacto en recursos de agua

El cambio climático introduce cambios en los sistemas geofísicos, biológicos, sociales y económicos. El IPCC identifica los siguientes conceptos relativos al cambio: impacto, vulnerabilidad y riesgo. Un **impacto** (adverso o benéfico) constituye un cambio específico en un sistema debido a su exposición al cambio climático. La **vulnerabilidad** al cambio climático es el grado por el cual estos sistemas son susceptibles a éste, e incapaces de enfrentar y superar un impacto adverso. El concepto de **riesgo** combina la magnitud del impacto con la probabilidad de su ocurrencia, y se asocia a la incertidumbre relativa al proceso del cambio climático.

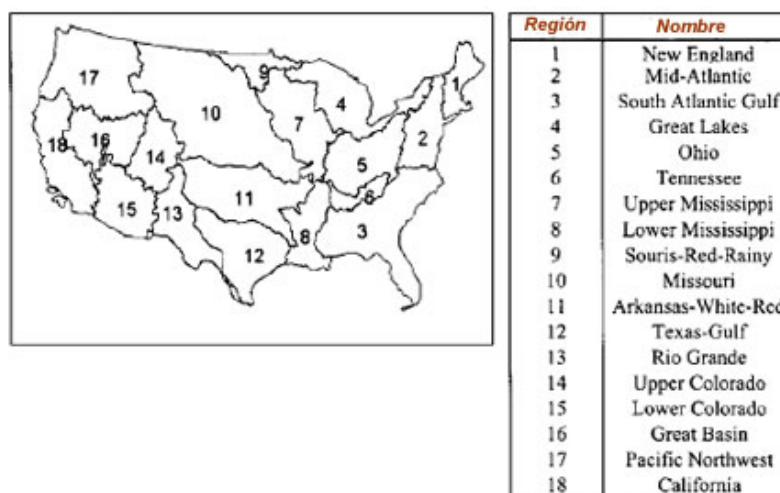
Referencia

Melissa E. Lane, Paul H. Kirshen and Richard M. Vogel (Tufts University, Medford, Massachusetts). *Indicators of Impacts of Global Climate Change on U. S. Water Resources*. Journal of Water Resources Planning and Management. Vol 125, N° 4, July/August, 1999. ASCE, USA.

El estudio selecciona indicadores ambientales y socioeconómicos de impacto del calentamiento global en los recursos de agua de Estados Unidos. De particular interés es la vulnerabilidad de los reservorios de almacenamiento regional, en tanto resume la efectividad de los sistemas de suministro regional de agua para atender la demanda. Al comparar métodos de tabulación y evaluación de indicador encuentran que reportan como el más efectivo, un indicador como una fracción de un umbral. Una visualización más apropiada es proporcionada por diagramas tipo estrella. Se aplican métodos de evaluación de indicadores para el clima actual y un posible escenario de cambio climático asumiendo un crecimiento económico. Aparentemente los principales impactos del calentamiento global ocurren en el oeste de Estados Unidos e incluyen: (1) poca presión relativa en los sistemas hidroeléctricos debido al incremento de suministro de energía por otras fuentes, y (2) una mayor presión sobre los recursos disponibles de agua debido al incremento en los usos y en algunos, decrecimiento de los flujos o escorrentías. Los autores consideran que es mejor mostrar todos los factores, en forma tabular o gráfica, en vez de hacer una agregación matemática de indicadores.

Introducción

El artículo recoge la definición de *indicador* como una medida del desempeño a través de información agregada en forma útil. Mientras que un *índice* es un juego agregado de indicadores. El estudio examina los indicadores ambientales y socioeconómicos en Estados Unidos para investigar los impactos de un potencial calentamiento global en los recursos de agua. Los impactos son medidos en términos de la presión sobre los recursos de agua. Un sistema de recursos de agua está estresado si es incapaz de ofrecer las cantidades necesarias de agua para los objetivos ambiental, social, y económicos. Los indicadores se aplican a las 18 regiones del Consejo de Recursos de Agua de los Estados Unidos. Los autores enfatizan que es mejor presentar los indicadores sin agregación en índices, pues de hacerlo se perdería el significado de ellos.



REGIONES DE RECURSOS DE AGUA EN ESTADOS UNIDOS

Los reportes del IPCC indican que debido a los cambios de temperatura y del clima, igualmente cambiarán las condiciones hidrológicas en todo el mundo. Algunos estudios indican que las precipitaciones se incrementarán en las mayores latitudes y disminuirán en las más bajas, e igualmente cambiarán en correspondencia los flujos de agua. La demanda de agua variará debido al cambio climático (al aumentar la temperatura y la evapotranspiración, las necesidades de riego y uso doméstico de agua serán mayores).

Indicadores para valorar los recursos de agua

Para la valoración de la situación e impactos ambientales y socioeconómicos, se dispone de una gran cantidad de indicadores. En relación con los recursos de agua, en el estudio se eligieron los siguientes, posibles de obtener por región desde diferentes fuentes.

Indicadores socioeconómicos

Consumo consuntivo	Consumo de agua en la región, más su exportación, dividido por la suma de superficie interna generadora y aguas superficiales renovables, más agua importada de otras áreas.
---------------------------	--

Vulnerabilidad del almacenamiento	Capacidad de la región para atender eventos extremos de agua.
--	---

Pobreza relativa	Porcentaje de la región sin recursos para subsistencia, debajo del nivel nacional de pobreza.
Tasa de hidroenergía	Dependencia de hidroelectricidad.
Proporción de demanda importada	Cantidad de agua importada a la región dividida entre su consumo interno.
<i>Indicadores ambientales</i>	
Intensidad del uso de agua	Uso anual del agua dividido por la suma de superficie interna generadora y aguas superficiales renovables, más agua importada de otras áreas.
Calidad de agua	Concentración de la demanda de oxígeno biológico pesado.
Coefficiente de variación	Variabilidad de la hidrología de la región.
Tasa de flujo de agua	Flujo de agua por unidad de área en la región.
Relación de dependencia	Independencia de independencia de una región de flujos de aguas arriba y transferencias.

Escenario futuro socioeconómico y del clima

El escenario que se proyecta en el estudio corresponde al 2100 con indicadores de variación aplicables a 1990. Está constituido por estimaciones de flujos regionales y condiciones ambientales y socioeconómicas.

En relación con los flujos regionales bajo el cambio climático, se consideran a las variables de precipitación y temperatura como las de mayor impacto hidrológico. Para la temperatura, a las proyecciones históricas, se le agrega los valores estimados por el cambio climático. En la época del estudio el incremento al 2100 fue considerado de 2° C para todas las regiones. En relación con la precipitación, fue estimada también a partir de los valores históricos multiplicados por un factor de precipitación según el cambio climático. En el caso de Estados Unidos, el estudio consideró incrementos de precipitación en todas las regiones excepto en la Región 13. Los flujos de agua hacia las cuencas disminuyen en la proyección (con decrementos entre el 10 al 40% en las Regiones 4, 9, 13, 14 y 16), y con un notable incremento del 28% en la Región 11.

En relación con la demanda de agua, el estudio adopta para el 2100 las proyecciones disponibles para el 2050 con tasas respecto a 1990 en: -6% en demanda doméstica, en 33% en manufactura, en 27% en enfriamiento en plantas termoeléctricas, y 25% en agricultura. Usando estas tendencias, se calculó el consumo consuntivo y la intensidad del uso del agua.

Las cargas futuras de demanda de oxígeno biológico, para la calidad del agua, fue calculada como directamente proporcional al crecimiento de la población. La variación de la producción de hidroenergía se consideró proporcional a los cambios en los flujos de agua. Se asumió una tasa de 81% en el incremento regional al 2050 de la producción eléctrica.

Se supuso que las proyecciones económicas regionales obedecen a las mismas tendencias en todas las regiones.

Formas de reportar los valores de los indicadores

El estudio explora tres métodos para tabular y reportar valores de indicadores, en este caso para evaluar el estrés regional de agua.

El primer método muestra los datos en forma tabular y directamente para cada región. Se trata de los valores de los indicadores bajo las condiciones climáticas corrientes (según el periodo del estudio).

Región (1)	Indicadores socioeconómicos					Indicadores ambientales				
	Consumo consuntivo (2)	Vulnerabilidad del almacenamiento (3)	Pobreza relativa (4)	Tasa de hidroenergía (5)	Proporción de demanda importada (6)	Intensidad del uso del agua (7)	Calidad del agua (8)	Coefficiente de variación (9)	Tasa de flujo de agua (10)	Relación de dependencia (11)
1	0.01	0.13	0.10	0.08	0.04	0.06	0.53	0.24	1.69	0.00
2	0.03	0.22	0.11	0.04	0.10	0.24	1.17	0.30	2.38	0.02
3	0.02	0.21	0.13	0.04	0.00	0.15	0.41	0.38	3.24	0.00
4	0.02	0.10	0.11	0.14	0.00	0.32	0.84	0.27	2.76	0.00
5	0.01	0.13	0.13	0.01	0.00	0.18	2.13	0.34	1.98	0.25
6	0.01	0.10	0.13	0.24	0.00	0.21	1.84	0.27	2.44	0.00
7	0.03	0.04	0.12	0.01	0.00	0.27	4.77	0.46	3.88	0.05
8	0.02	1.07	0.15	0.02	0.00	0.05	2.16	0.41	0.80	0.73
9	0.02	1.13	0.13	0.12	0.00	0.04	1.62	0.72	8.78	0.00
10	0.24	0.67	0.13	0.07	0.01	0.75	11.53	0.64	10.53	0.01
11	0.12	0.45	0.13	0.06	0.01	0.24	1.40	0.72	5.74	0.00
12	0.17	0.44	0.13	0.00	0.00	0.38	0.88	0.78	8.00	0.00
13	1.20	1.94	0.14	0.07	0.02	2.09	1.67	0.82	34.36	0.04
14	0.27	2.34	0.12	0.05	0.00	0.66	19.95	0.60	7.43	0.00
15	1.44	0.97	0.14	0.11	0.00	1.89	7.81	0.51	14.65	0.50
16	0.65	1.42	0.12	0.02	0.01	1.35	1.25	1.06	18.36	0.01
17	0.05	0.54	0.12	0.87	0.00	0.16	0.66	0.34	2.37	0.00
18	0.34	2.30	0.10	0.23	0.10	0.58	3.96	1.01	3.52	0.06

En el segundo método de presentación tabular, cada indicador regional es normalizado de 0 a 1 según los valores para todas las regiones. Tiene la desventaja que oscurece el significado de cada valor del indicador.

El tercer método requiere de un *umbral*, y muestra los valores en exceso. Para cada indicador, un umbral de presión o estrés permite diferenciar cuáles regiones están estresadas y cuáles no. Los umbrales se establecen de trabajos previos o por juicios específicos, como en la siguiente tabla.

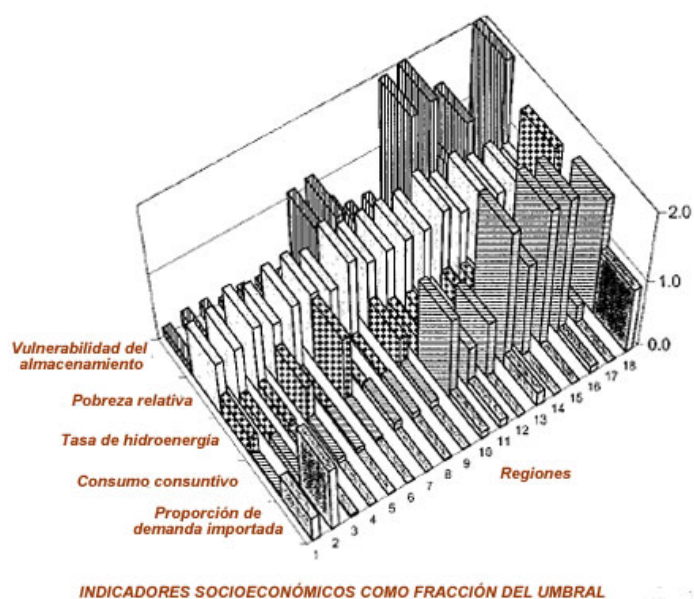
Categoría (1)	Indicador (2)	Umbral (3)
Estrés socio económico	Consumo consuntivo	>0.2
	Vulnerabilidad del almacenamiento	>1
	Pobreza relativa	>0.12
	Tasa de hidroenergía	>0.25
	Proporción de demanda importada	>0.1
Estrés ambiental	Intensidad de uso del agua	>0.2
	Calidad del agua	>7 mg/L

Categoría (1)	Indicador (2)	Umbral (3)
	Coefficiente de variación	>0.4
	Tasa de flujo de agua	>0.2
	Relación de dependencia	>0.1

Los umbrales pueden ser usados de dos maneras. Una, señalando el que excede y el que no excede el umbral (y reportarlo como cero o uno). La otra, presentar el indicador como una fracción del umbral, donde 1.0 representa al indicador en el umbral. En esta segunda manera, la información tiene mayor representatividad para tomar decisiones. En la tabla adjunta, el estudio presenta los resultados para las regiones de 10 a 18, en donde se han señalado los valores en exceso al umbral. La tabla es efectiva para mostrar los resultados del clima actual.

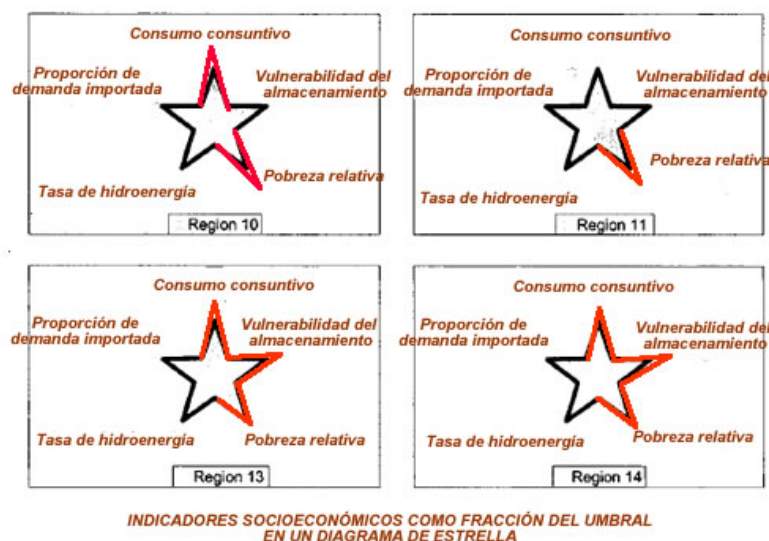
Indicadores para la situación actual										
Región (1)	Indicadores socioeconómicos					Indicadores ambientales				
	Consumo consuntivo (2)	Vulnerabilidad del almacenamiento (3)	Pobreza relativa (4)	Tasa de hidroenergía (5)	Proporción de demanda importada (6)	Intensidad del uso del agua (7)	Calidad del agua (8)	Coefficiente de variación (9)	Tasa de flujo de agua (10)	Relación de dependencia (11)
10	1.21	0.67	1.04	0.29	0.11	3.75	1.65	1.60	1.43	0.08
11	0.60	0.45	1.05	0.24	0.11	1.18	0.20	1.79	0.78	0.03
12	0.83	0.44	1.03	0.02	0.00	1.88	0.13	1.94	1.08	0.00
13	6.02	1.94	1.16	0.27	0.20	10.43	0.24	2.06	4.65	0.41
14	1.36	2.34	1.00	0.20	0.00	3.31	2.85	1.51	1.01	0.00
15	7.19	0.97	1.13	0.44	0.00	9.47	1.12	1.27	1.99	4.96
16	3.24	1.42	0.96	0.07	0.10	6.77	0.18	2.65	2.49	0.14
17	0.27	0.54	0.98	3.47	0.01	0.81	0.09	0.85	0.32	0.00
18	1.70	2.30	0.83	0.91	0.96	2.90	0.57	2.54	0.48	0.56

Agregación gráfica de indicadores



Existen varios métodos gráficos para presentar y transmitir información, cuya selección depende de los objetivos. Por facilidad de presentación, se presenta un gráfico de barras para los indicadores socioeconómicos de la tabla anterior.

Este tipo de representación presenta dificultades de visualización para comparar valores entre diferentes regiones, especialmente entre las que no están contiguas. Debido a ello, el artículo explora otra representación gráfica, como la del diagrama de estrella.



Aquí, para cada región el umbral es representado por el trazo oscuro, y se identifican gráficamente aquellos indicadores que exceden el umbral. Es una forma de expresar la presión ejercida en cada estrella.

El artículo explora otras formas de representación gráfica. Una de ellas, la de barras acumuladas con los valores de los indicadores para cada región. La otra, igualmente acumulada en la forma de pastel.

También el artículo compara los beneficios y desventajas de los distintos métodos gráficos, como: presentación del valor numérico, comparación entre regiones, facilidad de cálculo, facilidad de interpretación.

Uso de indicadores para comparar cambios climáticos

El método más simple para comparar los cambios climáticos es representar los indicadores para cada escenario.

Indicadores para un escenario de cambio climático										
Región (1)	Indicadores socioeconómicos					Indicadores ambientales				
	Consumo consuntivo (2)	Vulnerabilidad del almacenamiento (3)	Pobreza relativa (4)	Tasa de hidroenergía (5)	Proporción de demanda importada (6)	Intensidad del uso del agua (7)	Calidad del agua (8)	Coefficiente de variación (9)	Tasa de flujo de agua (10)	Relación de dependencia (11)
10	1.11	0.90	0.30	0.11	0.09	4.48	1.65	1.85	2.89	0.08
11	0.44	0.52	0.30	0.14	0.09	1.13	0.18	1.79	1.31	0.02
12	0.84	0.46	0.30	0.01	0.00	2.43	0.16	1.92	2.35	0.00
13	7.86	2.80	0.33	0.00	0.17	17.28	0.39	2.27	12.70	0.57
14	1.71	2.78	0.29	0.01	0.00	5.31	4.36	1.79	2.64	0.00
15	4.67	0.98	0.32	0.01	0.00	7.25	1.29	1.27	2.69	6.61
16	3.65	2.31	0.28	0.00	0.08	9.86	0.25	3.55	6.34	0.17

Indicadores para un escenario de cambio climático										
Región (1)	Indicadores socioeconómicos					Indicadores ambientales				
	Consumo consuntivo (2)	Vulnerabilidad del almacenamiento (3)	Pobreza relativa (4)	Tasa de hidro energía (5)	Proporción de demanda importada (6)	Intensidad del uso del agua (7)	Calidad del agua (8)	Coefficiente de variación (9)	Tasa de flujo de agua (10)	Relación de dependencia (11)
17	0.27	0.59	0.28	3.63	0.01	1.07	0.12	0.92	0.71	0.00
18	1.74	2.79	0.24	0.40	0.81	3.71	0.72	2.73	1.07	0.60

Existen varias formas de presentar la variación entre el escenario de la situación actual y aquel del cambio climático. Uno de los más comunes es el de porcentaje de la variación como se indica en la siguiente tabla. Un cambio positivo del porcentaje significa un incremento en el estrés o presión relativo al indicador que se analice.

Porcentaje de cambios del clima actual al del cambio climático										
Región (1)	Indicadores socioeconómicos					Indicadores ambientales				
	Consumo consuntivo (2)	Vulnerabilidad del almacenamiento (3)	Pobreza relativa (4)	Tasa de hidro energía (5)	Proporción de demanda importada (6)	Intensidad del uso del agua (7)	Calidad del agua (8)	Coefficiente de variación (9)	Tasa de flujo de agua (10)	Relación de dependencia (11)
10	-8.84	35.68	-71.32	-61.96	-19.00	19.45	12.45	15.68	1.53	-3.24
11	-26.56	15.50	-71.32	-39.53	-18.05	-4.87	-9.43	0.00	-15.54	-22.05
12	2.04	4.40	-71.32	-76.42	0.00	28.96	25.87	-0.85	8.92	0.00
13	30.50	44.78	-71.32	-98.52	-16.40	65.69	63.74	10.24	36.83	38.53
14	25.61	18.58	-71.32	-93.34	0.00	60.55	52.86	18.98	31.75	0.00
15	-35.05	1.63	-71.32	-97.60	0.00	-23.45	15.99	0.07	-32.16	33.18
16	12.67	62.70	-71.32	-96.86	-17.83	45.53	39.40	33.93	27.76	19.59
17	1.77	8.86	-71.32	4.42	-18.49	32.53	25.58	8.08	10.63	8.03
18	2.09	21.16	-71.32	-56.27	-15.29	27.91	26.60	7.63	12.39	8.37

No es tan fácil sacar conclusiones a través de la comparación entre las dos tablas, de ahí que el artículo explora otras representaciones. Una de ellas es la comparación gráfica directa indicador por indicador. El otro corresponde a un sistema de pesos para ajustar los grandes cambios. Para ello se utilizan los umbrales según se han presentado.

- A un cambio de porcentaje del indicador se le asigna un peso 0.5 si está debajo del umbral tanto en escenario actual como aquel del cambio climático.
- De otra parte, si un indicador exhibe presión o estrés bajo el clima actual, es asumido que cualquier cambio en el indicador en el clima futuro, es más importante que si no estuviese estresado, tal que el cambio de porcentaje es pesado con 1.0.
- En forma similar, si un indicador no está estresado en el clima actual, cualquier cambio que conduzca a un indicador estresado, se le asigna también un peso de 1.0.
- Aparte de la rápida visualización tabular, los resultados también pueden ser expresados en diagramas de estrella como lo hace el estudio.

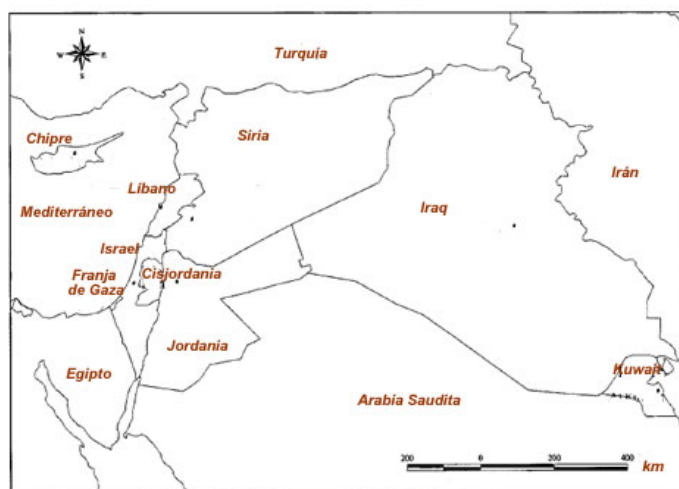
Región (1)	Indicadores pesados comparativos									
	Indicadores socioeconómicos					Indicadores ambientales				
	Consumo consuntivo (2)	Vulnerabilidad del almacenamiento (3)	Pobreza relativa (4)	Tasa de hidro energía (5)	Proporción de demanda importada (6)	Intensidad del uso del agua (7)	Calidad del agua (8)	Coefficiente de variación (9)	Tasa de flujo de agua (10)	Relación de dependencia (11)
10	1.00	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50
11	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	0.50
12	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	0.50
13	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	0.50
14	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50
15	1.00	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
16	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	0.50
17	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50
18	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	0.50

Cambio climático y recursos de agua

Referencia

E. Bou-Zeid (Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland) and M. El-Fadel (American University of Beirut, Beirut, Lebanon). *Climate Change and Water Resources in Lebanon and the Middle East*. Journal of Water Resources Planning and Management. Vol 128, N° 5, September 1, 2002. ASCE, USA.

No estando resuelto el calentamiento global inducido por el hombre, las mayores preocupaciones están centradas en la vulnerabilidad de los sistemas naturales y la rapidez de los cambios en los patrones de clima. Los recursos de agua constituyen el componente principal de los sistemas naturales que es afectado por el cambio climático. El artículo caracteriza los recursos de agua en varios países del Oriente Medio (Irak, Israel, Jordania, Líbano, Autoridad Palestina, Siria, en el oriente mediterráneo) y evalúa las predicciones de clima para varios escenarios utilizando modelos generales de circulación. El artículo trabaja con mayor detalle el caso del Líbano con impactos potenciales en los suministros de agua y la humedad del suelo, como indicadores. También se valoran medidas de adaptación en el contexto socioeconómico y ambiental.



PAÍSES DEL MEDIO ORIENTE CONSIDERADOS EN ESTE ESTUDIO

Introducción

En la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, Brasil, 1992, se expresó el sentimiento de *estabilización de las concentraciones de gases invernadero en la atmósfera a un nivel que prevenga la interferencia humana peligrosa con el sistema climático*. Lo que requiere es precaver la interferencia de los gases invernadero y sus impactos en el cambio climático. Considerando que el dióxido de carbono es el principal gas invernadero, los modelos de estudio simulan incrementos de la concentración de CO₂. Existen modelos simples de equilibrio de energía y otros más complejos de *circulación* con módulos atmosféricos y oceánicos. Estos últimos resuelven las ecuaciones de energía y masa que se transfieren en la atmósfera y los océanos. El medio está dividido en una malla horizontal con resolución de 2 a 4° de latitud y 2 a 4° de longitud, y de 10 a 20 capas en la dirección vertical. Se simulan los vientos, corrientes oceánicas, intercambios de calor, humedad y *momentum* (producto de masa por velocidad) entre atmósfera y océanos, así como otros procesos que resultan necesarios. Estos *modelos globales o generales de circulación* pretenden predecir las condiciones climáticas futuras bajo cambios en la radiación atmosférica de origen solar. Como validación se utilizan juegos de datos de climas pasados. Sin embargo, todavía se reconocen incertidumbres en muchos aspectos del clima que resultan así incomprendidos. Al agrupar *modelos locales o regionales de circulación*, permitiendo una mayor resolución, se han reducido estas limitaciones y mejorado la confiabilidad de los resultados. Pese a ello, no se deja de reconocer que las tendencias resultantes de los modelos globales de circulación son útiles para analizar la vulnerabilidad y establecer medidas de adaptación.

En términos generales, las simulaciones indican un incremento de la temperatura global que conduce a un ciclo hidrológico (evaporación, condensación, precipitación, infiltración, escorrentía, circulación subterránea) más activo. Para el caso del Medio Oriente, las simulaciones indican altas temperaturas futuras que incrementarán la evapotranspiración y los cambios en los patrones climáticos que podrían reducir la lluvia en la región como un todo. Este artículo evalúa los escenarios de cambio climático, con énfasis en el caso del Líbano. Para ello se desarrollaron modelos generales de circulación y un modelo de balance de agua. Los indicadores estudiados: evapotranspiración, excedentes, déficit de humedad de suelo. Se proponen medidas de adaptación.

Cambio climático y recursos de agua

Los impactos biofísicos y socioeconómicos en los recursos de agua que se esperan con el cambio climático están resumidos en la siguiente tabla.

Categoría	Recursos	Principales impactos	Efectos potenciales
Biofísicos	Hidrológicos	Precipitación	Cambios en la humedad del suelo
		Evaporación	Reducción de la recarga de agua subterránea
		Transpiración	Reducción o exceso de agua
		Escorrentía	Falla de presas debido a escasez
		Recarga	Pérdida de capacidad de presa debido a la sedimentación
	Calidad del agua	Temperatura del agua	Cambios en la calidad térmica
		Salinidad del agua	Cambios en calidad biológica

Categoría	Recursos	Principales impactos	Efectos potenciales	
Socio económicos	Sistemas acuáticos	Concentración de contaminantes	Cambios en calidad química	
		Fauna y flora		
		Canales de escorrentía	Sequías o inundaciones	
		Erosión y sedimentación	Falla de presa debido a inundaciones	
		Niveles de agua en cuerpos de agua superficiales	Pérdida de almacenamiento debido a sedimentaciones	
	Suministro de agua	Niveles de agua en acuíferos		
		Flujos de agua subterránea		
		Demanda de agua per cápita	Incremento de la demanda de agua más allá de los niveles proyectados	
		Sistemas de gestión de agua	Demanda de agua para agricultura	
			Canales de escorrentía	Suministro reducido de agua
Niveles de agua en cuerpos de agua superficiales	Cambios de carga en los sistemas de tratamiento de agua			
	Niveles de agua en acuíferos	Cambios en el potencial de producción en hidroenergía.		

En general es aceptado que el incremento de la temperatura, inevitablemente conduce a cambios en el ciclo hidrológico. Esto es atribuido al incremento del vapor de agua en la atmósfera. Sin embargo, varias regiones experimentarán precipitaciones reducidas. El artículo resume los cambios reportados por el IPCC.

Cambio de variables climáticas para el Líbano

Los pronósticos del estudio para el Líbano en el 2020 a partir de la información 1961 - 1990.

Variable	Cambio
Incremento de temperatura media en invierno	0.8°C
Incremento de temperatura media en verano	1.2°C
Cambio medio de lluvia en octubre - abril	0 mm/día

Medidas de adaptación

A la luz del incremento del estrés o presión en los recursos de agua y los potenciales efectos adversos en el cambio climático, las medidas de adaptación están principalmente centradas en los esfuerzos para los nuevos recursos de agua y efectos de conservación. Estas medidas se resumen en el siguiente cuadro.

Medida de adaptación	Beneficios potenciales	Mejores usos
Conservación	Variación en la tendencia de incremento de la demanda de agua	Reducción de la demanda doméstica, industrial, agricultura.
Uso de los excedentes de agua de escorrentía en invierno	La recolección de escorrentía puede constituir el 10% de lluvia.	Irrigación, recarga de acuífero
Reuso de agua de desperdicio	Toda el agua de desperdicio puede ser reusada	Irrigación, recarga de acuífero
Desalinización de agua de mar	Suministro satisfactorio de agua	Doméstico, industrial
Mejoramiento de lluvia por tratamiento de nubes	Puede incrementarse la precipitación hasta el 15% en zonas áridas	Irrigación, recarga del acuífero
Uso de manantiales submarinos	Mejora significativa de flujos de agua para las costas del Líbano	Doméstico, industrial, uso agropecuario, recarga del acuífero.

Optimización en la emisión de gases invernadero

Referencia

Wenyan Wu, Augus R. Simpson and Holger R. Maier (School of Civil, Environmental and Mining Engineering, University of Adelaide, Adelaide, Australia). *Accounting for Greenhouse Gas Emmissions in Multi-Objective Genetic Algorith Optimization of Water Distribution Systems*. Journal of Water Resources Planning and Management. Posted ahead of print March 27, 2009. ASCE, USA.

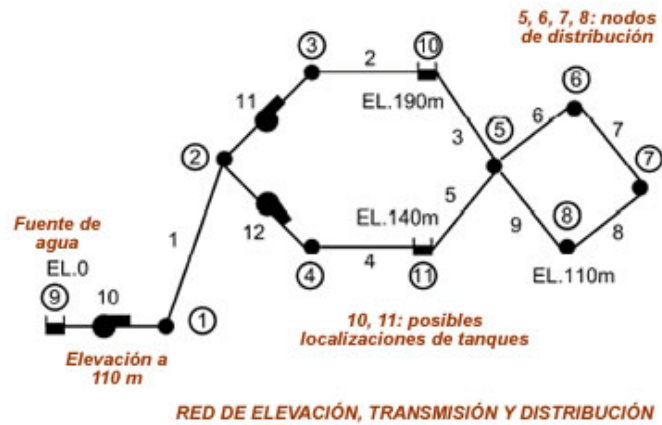
La optimización de sistemas de distribución de agua ha sido enfocada usualmente en la optimización de costos, con muy pocas consideraciones respecto a su impacto ambiental y el cambio climático, especialmente en el calentamiento global y la emisión de gases invernadero. En la investigación se explora una herramienta para contrastar el objetivo tradicional de minimizar los costos con el objetivo ambiental de minimizar la emisión de gases invernadero.

Introducción

En el estudio se utiliza un algoritmo genético multi-objetivo para investigar los intercambios entre los objetivos económicos y ambientales. Para ambos tipos de objetivos se distingue: (1) los costos de inversión y las emisiones de gases invernadero que ocurren en la fabricación y construcción del sistema de distribución de agua, y (2) los costos operacionales y las emisiones durante la vida del sistema.

Para tomar en cuenta el factor *tiempo* en ambos casos, en los costos y emisiones futuras, se utilizaron herramientas apropiadas. En la parte económica, se empleó el análisis del valor actual (PVA). Se consideraron

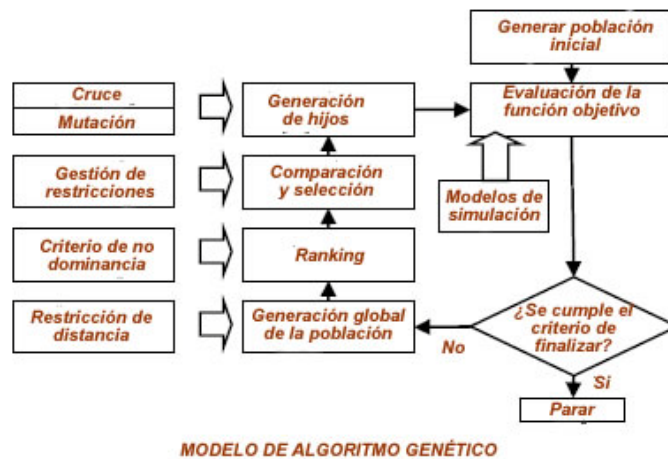
tasas de descuento apropiadas para este tipo de proyectos. El artículo explora el caso específico de un sistema de distribución de agua. Este sistema aparece ilustrado en el diagrama adjunto, que como se observará, debido a las elevaciones, requiere a su vez de un sistema de bombeo. Las alternativas giran precisamente en la localización de las bombas.



Métodos

◆ Optimización multi-objetivo

Tanto para los objetivos económicos como de los ambientales, se utilizó una aproximación multi-objetivo, prefiriéndose en esta investigación los algoritmos genéticos. Se adjunta el diagrama con los aspectos principales del mismo.



◆ Análisis de valor presente o actual

El valor presente o actual (PVA) traslada los valores del futuro al presente utilizando una tasa de descuento i . Así, si en el periodo t se efectúa un pago C , su valor actual está dado por

$$PV_t = C/(1+i)^t$$

En este cálculo, al valor $1/(1+i)^t$ se le llama *factor de descuento*.

Formulación del problema

♦ Minimización del costo total de los sistemas de distribución de agua

Para el caso del estudio, el costo total está compuesto del costo de inversión o capital (CC), los costos de reemplazo de las bombas (PRC), y los costos operativos (OC). Esto es, se trata de minimizar:

$$f_1 = CC + PRC + OC$$

- El costo de capital resulta de la compra e instalación de los componentes de la red (tuberías y bombas) y de la construcción de las estaciones de bombeo, los cuales ocurren al inicio del proyecto.
- A lo largo de la vida del sistema, las bombas necesitan ser reemplazadas periódicamente para asegurar el mantenimiento del sistema.
- Los costos de operación se deben principalmente al consumo de electricidad durante la operación debido al bombeo.

Estos dos últimos tipos de costos corresponden a diferentes etapas en la vida del sistema, por lo tanto el cálculo de los costos respectivos necesitan descontarse a un valor presente o actual.

♦ Minimización de las emisiones de gases invernadero para los sistemas de distribución de agua

El total de emisiones de gases invernadero, GHG , está constituido para este estudio por las emisiones en la etapa de inversión o de capital, $CGHG$, y por las emisiones en la etapa de operación, $OGHG$. De tal manera que el estudio requiere minimizar:

$$f_2 = CGHG + OGHG$$

- Las emisiones de inversión o de capital son debidas a la manufactura e instalación de los componentes de la red, como tuberías, bombas, válvulas y tanques (aunque el estudio consideró sólo el caso de las tuberías). Ocurren al comienzo del proyecto.
- Las emisiones de operación son debidas al consumo de electricidad durante la operación del sistema a lo largo de su vida. Estrictamente, requerirían ser actualizadas.

Emisiones de inversión o de capital

La manufactura e instalación de tuberías involucra una energía EE . Dependiendo del tipo de energía utilizada (térmica, nuclear, hidroeléctrica, u otra) esta disposición de energía ha ocasionado una emisión de gases invernadero, a cuyo valor se llega empleando un factor de emisión EF .

Por lo tanto, las emisiones de inversión o de capital pueden calcularse para el total de las n tuberías en la forma:

$$CGHG = EF \sum_{i=1}^{n \text{ tub}} EE (tub_i)$$

En el caso del estudio, el consumo de energía para las tuberías fue considerado como 40.2 MJ/kg (y después reducido a su equivalente en MJ/m). El factor de emisión EF convierte la energía en un total de kg de emisión. También para el estudio se utilizó un factor constante de emisión de 1.042 kg de CO_2 con el equivalente a kWh, considerado válido para los usuarios de electricidad en la zona del ejemplo.

Emisiones de operación

En forma similar, las emisiones de operación, *AOGHG*, fueron calculadas con el mismo factor de emisión, *EF*, aplicado a un consumo anual de electricidad, *AEC*, expresado en kWh, así:

$$AOGHG = EF * AEC$$

Que estrictamente será actualizado.

Resultados

El estudio aplica el método al ejemplo presentado, para minimizar los costos totales, así como minimizar la emisión de gases invernadero. Este último se constituye en un mecanismo objetivo entre los propósitos ambientales y económicos.