

*Cuencas fluviales prístinas e índices hidrológicos apropiados: ingredientes esenciales para los estudios de cambio climático*¹

Por Paul J. PILON² y Johan L. KUYLENSTIERNA³

Cambio climático y recursos hídricos

El contexto general

El agua potable es el recurso más esencial que mantiene la vida humana, el crecimiento y el desarrollo económicos. Es irremplazable en lo que respecta a la bebida, la higiene, la producción de alimentos, las pesquerías, la industria, la generación de energía hidroeléctrica, la navegación, las actividades recreativas y muchas otras actividades. También juega un importante papel cultural y espiritual en muchos países, y especialmente en muchos pueblos indígenas. El agua es igualmente crítica para el funcionamiento correcto del medio ambiente natural, sobre el que está construida la sociedad humana. El consumo mundial de agua para satisfacer las demandas creció de forma dramática en el siglo XX. Entre 1900 y 1955, el consumo de agua se multiplicó por un factor superior a seis, más del doble del ritmo de crecimiento de la población (Naciones Unidas e Instituto del Medio Ambiente de Estocolmo, 1997). Este rápido e insostenible crecimiento de la demanda de agua se debe a la creciente confianza en el riego para lograr la seguridad en los alimentos, al crecimiento de los usos industriales y al crecimiento, per cápita, del uso para fines domésticos.

Como respuesta a los problemas que surgen para suministrar agua potable a todos los hombres y a una amplia variedad de actividades económicas, además de para proteger la integridad del medio ambiente, la comunidad internacional ha organizado numerosas conferencias internacionales, la primera se remonta a la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Agua de Mar

del Plata, Argentina, en 1977. El resultado de esta primera reunión fue el Plan de Acción de Mar del Plata (Naciones Unidas, 1977). Se puede considerar como el punto de partida de más de 20 años de discusiones políticas continuadas sobre cómo mejorar la gestión de los recursos de agua potable. Los documentos resultantes, y especialmente el capítulo 18 de la Agenda 21 (Naciones Unidas, 1992), se han elaborado, en gran parte, a partir del Plan de Acción de Mar del Plata. Con esto no se quiere decir que no se haya progresado a lo largo de estos años, tanto en el concepto como en la aplicación, pero sigue siendo cierto que a menudo hay una falta de voluntad para aplicar los principios de gestión que ya existen, tanto en el ámbito nacional como en el internacional.

Cambio climático—un nuevo desafío que surge en la gestión de los recursos hídricos

Sin embargo, hay un problema que ha surgido como una amenaza potencial mundial y que no ha sido tratado a fondo como parte integral de la gestión de los recursos hídricos. Las consecuencias potenciales del cambio climático inducido por el hombre sobre los recursos hídricos plantean tremendos desafíos nuevos a los hidrólogos, a los climatólogos y a otros especialistas. Los planificadores y los políticos deben valorar y comprender mejor las posibles implicaciones de un cambio climático sobre los recursos hídricos. Esto generalmente requiere que haya un estudio adicional de los vínculos entre el cambio climático y sus posibles efectos sobre los recursos hídricos. Se debería llevar a cabo una vigilancia y un examen de los registros re-

¹ La sección que trata sobre los índices está basada parcialmente en un documento preparado para la reunión Tendencias de los extremos climatológicos y meteorológicos: actualización desde la Conferencia de Asheville de junio de 1997 para el Tercer Informe de Evaluación (TAR) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre los Cambios Climáticos (IPCC) que convocaba a los autores principales del Capítulo 2, celebrada en Asheville, Carolina del Norte, los días 9 y 10 de marzo de 1999. Se riega ver también los agradecimientos. El contenido y las conclusiones de este artículo no reflejan necesariamente las opiniones de los expertos que han contribuido a la lista de índices ni las de la OMM.

² Medio Ambiente de Canadá, Medio Ambiente Atmosférico de la Región de Branch-Ontario y Presidente de la Comisión de la OMM para el grupo de trabajo de Hidrología sobre Aplicaciones.

³ Gestión de Recursos Medioambientales, Estocolmo, Suecia.

cientes para valorar si puede estar ocurriendo un cambio y cómo se está produciendo. El amplio esfuerzo que se ha invertido en programas de cambio climático, y especialmente en el trabajo de desarrollar futuros escenarios climáticos, se debe usar de forma más activa en el campo de la gestión hídrica.

En la valoración de 1995 del Grupo intergubernamental de expertos sobre los cambios climáticos (IPCC, 1996(a)) se afirmaba que "... el cambio climático originará una intensificación del ciclo hidrológico global y puede tener consecuencias importantes sobre los recursos hídricos regionales...". Si tal situación se convierte en realidad, necesitaremos estar bien preparados para enfrentarnos a los desafíos que impondría. Sin embargo, y por desgracia, las grandes incertidumbres están asociadas a los modelos actuales de circulación general (IPCC, 1996(b)), haciendo que las inferencias futuras sean bastante imprecisas. Además, la valoración del IPCC (*ibid*) también se refiere a algunos problemas adicionales, asociados a tales inferencias, tales como: (a) trasladarlas a una escala apropiada para la modelización hidrológica; (b) los errores introducidos a través de los datos, tanto hidrológicos como climatológicos, que se usan para validar los modelos hidrológicos y climatológicos; y (c) convertir las entradas climatológicas en respuestas hidrológicas con un conocimiento no menos perfecto de cómo se relacionan entre sí los procesos. Así que se deben invertir más esfuerzos en aumentar el conocimiento básico de los vínculos existentes entre la variabilidad y el cambio climático y el sistema hidrológico. También es importante, y más desde un punto de vista político, asegurar el tipo y el grado de impacto que sobre los recursos hídricos pueda estar sucediendo.

Un nuevo papel para el Programa Mundial sobre el Clima — Agua

Durante muchos años, el Programa Mundial sobre el Clima — Agua (PMC-Agua) de la OMM ha centrado sus principales esfuerzos investigadores a una serie de aspectos vinculados a estos problemas. El programa puede jugar un papel importante e incluso mayor en el futuro, ya que ha sufrido recientemente un proceso en el que ha habido un cambio de enfoque. Este proceso ha dado como resultado una concentración de esfuerzos más clara en estos problemas oportunos. Se ha decidido que el PMC-Agua debería concentrarse en dos áreas de actividad principales, y la primera de ellas deberá ser tratada inmediatamente. Las dos áreas propuestas son:

- A Estudios hidrológicos en el contexto de la variabilidad y el cambio climático
- B Aplicación de la información climatológica e hidrológica en la planificación, el diseño y el funcionamiento de los sistemas de recursos hídricos.

Es obvio que hay una clara vinculación entre estas dos áreas de actividad, ya que el área A ofrecerá una entrada importante y necesaria para la segunda área. El área B es en realidad una aplicación de los resultados, sean los que sean, que se obtengan de A. Por tanto, fue natural tomar primero la decisión de centrarse en la primera área de actividad mencionada arriba. Las propuestas hechas en este artículo encajan bien dentro de los límites del área del programa A.

Cuencas fluviales prístinas—elementos esenciales para comprender mejor los vínculos entre el agua y el clima

Datos climatológicos e hidrológicos

La OMM (1966; 1986) ha fijado unos criterios para la red de estaciones climatológicas de referencia (RCS) de la OMM. La red RCS se compone de estaciones de las redes nacionales climatológicas existentes. Su finalidad es facilitar la detección y la evaluación correcta del cambio climático. Consta de estaciones con registros relativamente largos, cuyos datos están disponibles, verificados y son homogéneos y que reflejan una distribución amplia de emplazamientos a lo largo de todo el mundo.

Peterson y otros (1997) describen el proceso utilizado en el Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC) para identificar las estaciones candidatas a la red superficial del SMOC (GSN). Se utilizó un proceso de múltiples pasos para crear una lista de unas 1 000 estaciones climatológicas. Estas estaciones se seleccionaron a través de un proceso complejo e iterativo, que eligió las estaciones más significativas de cada zona geográfica. La ponderación tenía en cuenta numerosos factores como, entre otros, la longitud de las series, la calidad y la homogeneidad de los datos, la capacidad de funcionar en tiempo real, la naturaleza prístina del área circundante a la estación y su funcionamiento continuado. En este ejercicio se consideraron las estaciones de la red RCS, ya que eran estaciones elegidas por otros grupos de investigación. Se permitió cierta variación en los procedimientos para compensar las condiciones de montaña.

Una característica importante de los datos climatológicos es su calidad u homogeneidad. La OMM (1966) define la homogeneidad de los datos climatológicos como "la intención de los datos de dar una representatividad uniforme y media para las condiciones de zonas geográficas lo suficientemente grandes". La homogeneidad de los datos se ve amenazada por la alteración de las condiciones locales tales como la urbanización, la modificación del paisaje, la deforestación, la reforestación y otros cambios del medio ambiente local. También se ve amenazada por cambios en los instrumentos, por la exposición o situación de

los mismos y por el cambio de las horas de observación. La homogeneidad de los registros climáticos es un problema serio que pone en peligro la utilidad de los datos para los estudios de detección. Se han dedicado muchos esfuerzos para homogeneizar los registros climatológicos a través de la corrección de los datos archivados. La OMM (1966) sugiere el uso de series climatológicas promediadas regionalmente como índice superior a las series de la estación individual, especialmente para elementos altamente variables como la precipitación. Se ha sugerido este promedio regional, en parte, debido a las complicaciones asociadas a "homogeneizar" las series de datos. La homogeneización de datos hidrológicos es todavía más dudosa, ya que no es ni sencilla ni fácil de ejecutar de forma consistente y uniforme. Es una cantidad obtenida subjetivamente y necesita unos enfoques muy complejos y complicados, que pueden ofrecer, sin embargo, datos modificados de calidad y precisión desconocidas.

Trabajos como los de Vose y otros (1992), Jones (1994) y SMOC (1998), evidencian que las estaciones climatológicas que reflejan la contaminación directa de los datos por parte del hombre — por ejemplo, el efecto de isla de calor — son aceptables para los estudios de cambio climático. Por el contrario, para estudios hidrológicos, los hidrólogos han prestado especial atención en asegurar que los datos de las estacio-

nes hidrológicas estén lo más libres posible de la intervención directa del hombre en el paisaje o en los flujos de la cuenca fluvial. Se necesita el conocimiento de expertos locales para valorar el potencial de los distintos tipos de intervenciones humanas sobre los datos hidrológicos, además de para valorar la exactitud de las medidas. La aplicación de criterios de selección, sin la participación de expertos locales que tengan un conocimiento específico del lugar, dará potencialmente como resultado redes especializadas que contengan estaciones de calidad y valor dudosos. El análisis de tales redes puede llevar a obtener conclusiones erróneas o a impedir la identificación del cambio atribuible al cambio y a la variabilidad climáticos.

Redes de cuenca fluvial prístina en Canadá

En Canadá, se ha centrado la atención en la severidad de las recientes inundaciones, como las de las cuencas de los ríos Saguenay y Rojo. Y existe la misma preocupación en muchas partes del mundo. Se está produciendo cierto debate sobre si son atribuibles a un clima cambiante o a un reflejo de la variabilidad natural (Francis y Hengeveld, 1998). Dado que las consecuencias de estos episodios extremos son tan devastadoras, Canadá está explorando una serie de acciones de respuesta y de mitigación de desastres que serán usadas como formas adicionales en estrategias de gestión

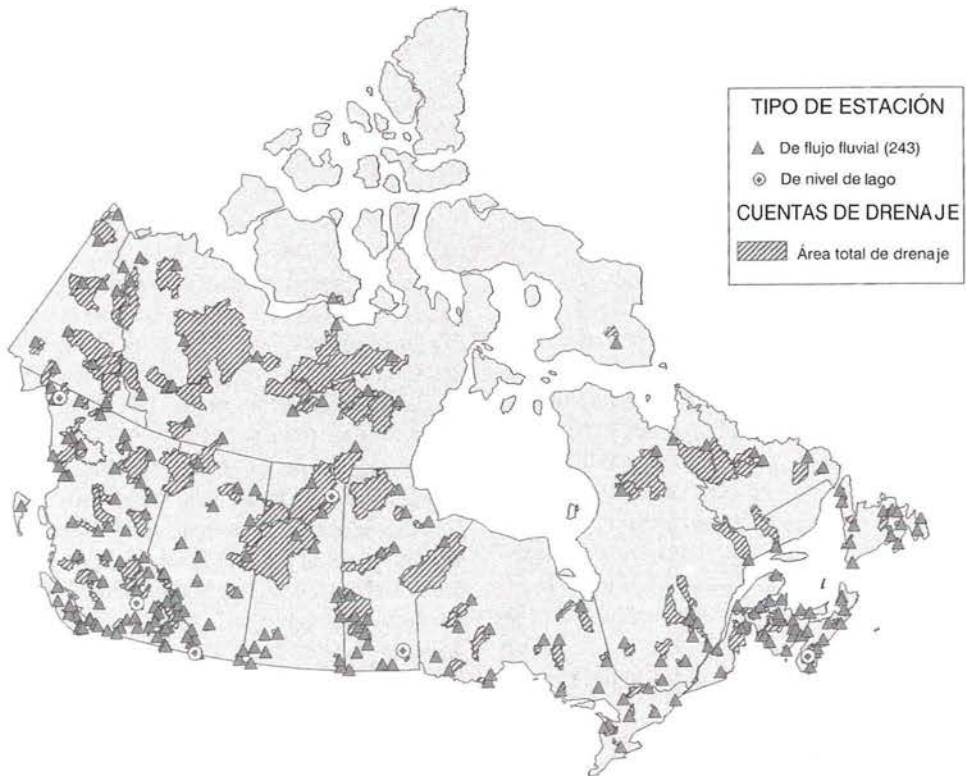


Figura 1 — Cuenca Hidrológica de Referencia de Canadá (249 estaciones) (cortesía de Medio Ambiente de Canadá)

hídrica (Bruce y otros). Entre sus importantes componentes están incluidos sistemas de vigilancia en tiempo real, modelos hidrológicos mejorados y mejores capacidades de predicción.

Como parte de un esfuerzo científico global para valorar el cambio y la variabilidad climáticos, Canadá decidió desarrollar la red de referencia de cuenca hidrológica (RHBN). Es una red de estaciones hidrológicas para detectar y valorar las consecuencias del cambio y la variabilidad climática sobre las aguas superficiales de Canadá (Medio Ambiente de Canadá, 1999(a)). La RHBN consta de 249 estaciones hidrológicas, incluidas las 206 estaciones de flujo fluvial continuo, las 37 de flujo fluvial estacional y las seis estaciones de nivel continuo de lago. La figura 1 muestra la situación de cada estación, el tamaño y la forma de la correspondiente cuenca de drenaje. La figura 2 muestra la situación de las 243 estaciones de flujo fluvial e indica el número de años de registros disponibles para cada estación. Entre los criterios que se usaron para elegir las estaciones de la RHBN canadiense estaban incluidos:

- El rango de cobertura (estacional, continuo, flujo fluvial y nivel de lago)
- El grado de desarrollo de la cuenca
- La ausencia de regulación o de desviaciones importantes

- La longitud de los registros apropiados
- El tiempo de funcionamiento
- La precisión de los datos.

De acuerdo con estos criterios de selección establecidos, todas las estaciones tienen por lo menos 20 años de registros. Alrededor del 60 por ciento de las estaciones de flujo fluvial tienen más de 30 años de registros, mientras que la longitud media de registro adecuada es de 40 años. Esta red complementa a la red RCS de Canadá, que tiene 254 estaciones de observaciones climatológicas de series largas identificadas para ser utilizadas al tratar el cambio y la variabilidad climática de, predominantemente, la temperatura y la precipitación (Medio Ambiente de Canadá, 1996). Las redes de este tipo constituyen un importante paso adelante para tratar la necesidad de datos canadienses para apoyar los estudios científicos de cambio climático de ámbito hemisférico y global, y se está proponiendo que sea parte de la contribución de Canadá al SMOC (Medio Ambiente de Canadá, 1999(b)).

La comunidad científica hidrológica reconoce la importancia de desarrollar y de mantener tales estaciones de la red. Sin embargo, no es una práctica común el hacer que se disponga de recursos financieros a través de vincular los problemas científicos con las redes hidrológicas operativas. A medida que los gobiernos limiten los recursos se pondrá cada vez más

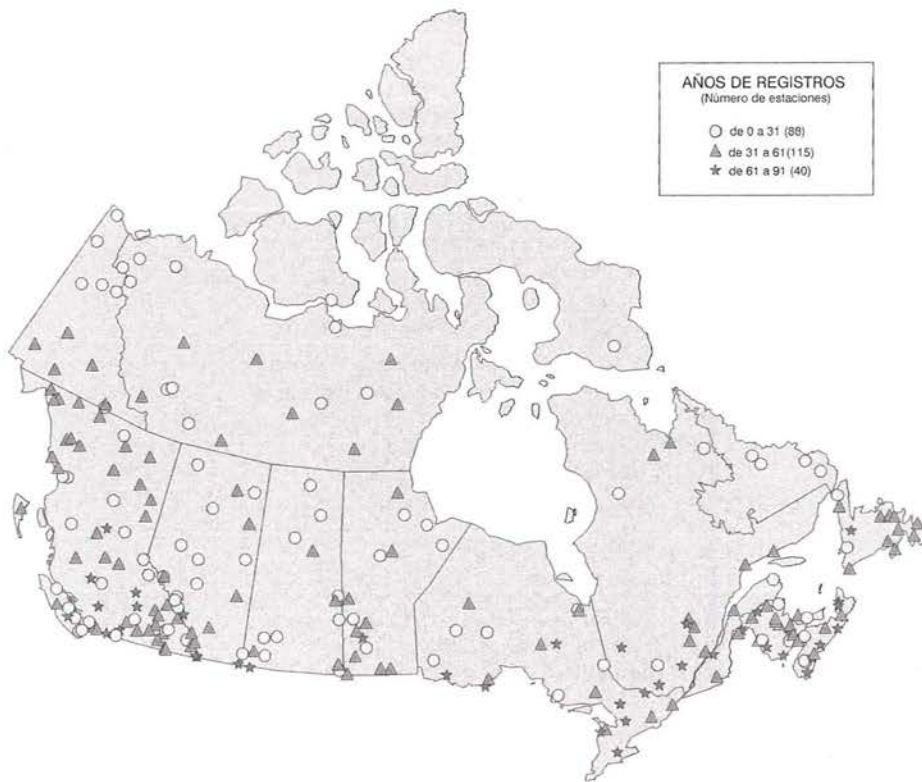


Figura 2 — Cuenca hidrológica de referencia de Canadá (244 estaciones de flujo fluvial) (cortesía de Medio Ambiente de Canadá)

Índices hidrológicos para los análisis de cambio y de variabilidad climáticos

N.º	Siglas	Definición	Resolución *	Unidad
651-659 Índices derivados del caudal				
651	Q100D	Percentil 100 del caudal medio diario	A, E, M	m ³ s ⁻¹
652	Q100I	Percentil 100 del caudal máximo instantáneo	A, E, M	m ³ s ⁻¹
653	Q90	Percentil 90 del caudal medio diario	A, E, M	m ³ s ⁻¹
654	Q50	Mediana (percentil 50) del caudal medio diario	A, E, M	m ³ s ⁻¹
655	Q10	Percentil 10 del caudal medio diario	A, E, M	m ³ s ⁻¹
656	Q0	Mínimo (percentil 0) del caudal medio diario	A, E, M	m ³ s ⁻¹
657	Q10-7	Mínimo en 7 días del percentil 10 del caudal medio diario	A, E, M	m ³ s ⁻¹
658	Q100-7	Máximo en 7 días del percentil 10 del caudal medio diario	A, E, M	m ³ s ⁻¹
659	QAVG	Caudal medio diario	A, E, M	m ³ s ⁻¹
660	Sta90	Número de estaciones, en cada período de tiempo (en una red) que tienen un caudal mayor que o igual a su percentil 90 de caudal en el período de registro (sin referencia a ninguna distribución de probabilidad fijada)	A, E	m ³ s ⁻¹
661	Sta10	Número de estaciones, en cada período de tiempo (en una red) que tienen un caudal menor que o igual a su percentil 10 de caudal en el período de registro (sin referencia a ninguna distribución de probabilidad fijada)	A, E	m ³ s ⁻¹
662	QNP	Número de incidencias de episodios de inundaciones independientes	A, E	
663	QDEF	Déficit acumulativo por debajo de un umbral fijado (por ejemplo, descarga media)	A, E	
664	QSUM	Suma acumulativa de caudales de una región o red	A, E, M	m ³ s ⁻¹
665-691 Índices relacionados con los procesos estacionales de primavera				
665	SpVol	Volumen de caudal estacional en primavera	A	m ³
666	ID	Duración de la capa de hielo dentro del año hidrológico	A	días
667	I1	Fecha de la primera capa de hielo	A	días
668	I2	Fecha de rotura del hielo o de condiciones libres de hielo	A	días
669	QSD	Fecha de comienzo de la estación de fusión de la nieve	A	días
670	QSP	Fecha del máximo flujo de nieve fundida	A	días
671	SpD	Duración del flujo primaveral	A	días
672-673 Índices relacionados con el agua superficial natural				
672	G100D	Percentil 100 del nivel máximo de agua superficial	A, E, M	mm
673	G0D	Mínimo (percentil 0) del nivel de agua superficial	A, E, M	mm
674-675 Índices de niveles naturales de lago				
674	L100D	Percentil 100 del nivel máximo de lago	A, E, M	mm
675	L50D	Mediana (percentil 50) del nivel de lago	A, E, M	mm
676	L0D	Mínimo (percentil 0) del nivel de lago	A, E, M	mm
677-688 Índices para glaciares y permafrost				
677	GV100	Percentil 100 del volumen máximo del glaciar	A, E, M	m ³
678	GE100	Percentil 100 de la extensión máxima del glaciar	A, E, M	m ²
679	GVO	Mínimo (percentil 0) del volumen del glaciar	A, E, M	m ³
680	GEO	Mínimo (percentil 0) de la extensión del glaciar	A, E, M	m ²

* Anual (A) y estacional (E), pueden referirse al año y a la estación hidrológicos mejor que a los períodos civiles convencionales, mensual (M) corresponde a los meses civiles.

Continuación de la tabla

677-688 Índices para glaciares y permafrost (continuación)

681	SWE100	Percentil 100 del máximo de la equivalencia en agua del trozo de nieve	A, E, M	mm
682	SWE0	Mínimo (percentil 0) de la equivalencia en agua del trozo de nieve	A, E, M	mm
683	SD	Duración de la capa de nieve	A, E	días
684	SL	Porcentaje de tierra cubierta de nieve	A, E	%
685	PF100	Percentil 100 de la máxima profundidad del permafrost	A, E, M	m
686	PFO	Mínima (percentil 0) profundidad del permafrost	A	m
687	ECP	Extensión del permafrost continuo	A	m
688	EDP	Extensión del permafrost discontinuo	A	m

en duda la viabilidad financiera de las estaciones. Además, como los sitios buenos para convertirse en estaciones suelen estar en áreas poco pobladas, puede darse una falta de usuarios que estén dispuestos a ofrecer el apoyo financiero necesario para mantenerlas. Por lo tanto se deben hacer esfuerzos para subrayar la importancia de las estaciones específicas que se han seleccionado para ser incluidas en redes tales como la RHBN. Es importante recordar que, sin una vigilancia adecuada del cambio potencial y un apoyo a su análisis científico, será difícil, si no imposible, determinar tanto el alcance de los cambios sobre los recursos hídricos y sobre los ecosistemas acuáticos de un país, como la suficiencia de las medidas políticas tomadas para tratar las consecuencias. Probablemente Canadá no sea el único en este aspecto y es probable que se dé una situación similar en muchos países de todo el mundo. Por lo tanto, es crítico que se tomen las siguientes acciones específicas para asegurar la continuidad de dichas estaciones durante mucho tiempo:

- Promover la conciencia de la importancia de estas estaciones particulares para darles esta prioridad local, regional y nacional, en especial dentro de las comunidades científica y política.
- Conseguir financiación de todas partes para que estas estaciones continúen funcionando.
- Fomentar que la comunidad científica use el concepto RHBN (y de redes similares de otros países) para documentar y comprender los efectos del cambio y de la variabilidad climáticos sobre las condiciones y los regímenes hidrológicos a lo largo y ancho del mundo.

Índices hidrológicos—una herramienta clave para los estudios de cambio climático

Además de tener cuencas fluviales prístinas para obtener datos apropiados, también es importante determinar claramente el tipo de datos que necesitamos

para los estudios de cambio y de extremos climáticos. Esto ayudará a los gobiernos, además de a la comunidad internacional y a los científicos, a establecer objetivos específicos y a enfocar sus trabajos.

Los regímenes hidrológicos dictan el comportamiento promedio estacional del caudal fluvial y las características del sistema fluvial. Un régimen cambiante o ya cambiado indica cambios naturales o inducidos por el hombre en el medio ambiente de la cuenca o puede ser el resultado de un forzamiento climatológico. Se pueden usar distintas variables para describir los regímenes hidrológicos, y los cambios del régimen se pueden encontrar potencialmente a través del análisis de distintas variables hidrológicas, bastantes de las cuales están relacionadas con los extremos hidrológicos.

Es evidente que lo que podría considerarse como variable hidrológica lo abarca todo, y muchas de ellas podrían ser importantes para los estudios de cambio y variabilidad climáticos (OMM, 1988; Lawford, 1992; Peterson y otros, 1997; SMOC, 1998). De todas formas, Burn (1994, pág. 28) señala que muchas de esas variables pueden no tener registros disponibles para un gran número de sitios o no tener una serie de registros lo suficientemente larga. Los datos hidrológicos presentan a menudo este problema. De forma intuitiva, debe haber datos suficientes y tales datos deben ser también de una calidad satisfactoria para que sean útiles en los estudios de detección del cambio. Burn (*ibid*) selecciona el flujo fluvial como la variable hidrológica que hay que elegir para detectar los efectos del cambio climático ya que “representa una respuesta integrada de la cuenca a las entradas hidrológicas y por lo tanto permite una buena cobertura espacial”.

De todas formas, hay otras variables que podrían ser importantes para establecer los efectos que produciría el cambio climático sobre los sistemas naturales. En términos más generales, se puede elegir cualquier número de índices hidrológicos que reflejen las condi-

ciones climatológicas y su interacción con el paisaje físico prístino. Tales interacciones los hacen potencialmente complejos y bastante complicados de obtener, de evaluar, e incluso de comprender. De todas formas, se sostiene que tal complejidad es necesaria para mejorar el conocimiento de todos los procesos que contribuyen a la variabilidad detectada en el ciclo hidrológico y de cómo interaccionan entre sí. Esto tiene una importancia especial, ya que el clima no es la única variable que influye en las repuestas hidrológicas. También podrían surgir nuevas complicaciones debido a que los datos pueden estar afectados por efectos humanos directos a través de la intervención dentro de los procesos naturales de una cuenca. Así que es imposible encontrar variables hidrológicas que reflejen una única variable climatológica específica. Distintos regímenes hidrológicos pueden también reaccionar de forma muy distinta al mismo cambio en la entrada climatológica. Por ejemplo, una mayor precipitación invernal puede producir un caudal invernal mayor en algunas regiones, mientras que en otras puede aparecer un mayor caudal primaveral. Además, diferentes combinaciones de variables climatológicas podrían dar la misma salida hidrológica. Una comparación regional de un índice hidrológico simple podría, por ello, demostrar ser más complicado que lo encontrado inicialmente.

Un problema hidrológico al que a menudo se hace referencia en la literatura sobre el cambio climático es el "caudal naturalizado de los ríos". Como se ha discutido antes, no se puede sostener el uso extensivo de esta variable, ya que es muy difícil, si no imposible, determinar cómo influyen los algoritmos o las aproximaciones de la "naturalización" en todo los análisis estadísticos posteriores de los datos.

Nada de lo anterior excluye la posibilidad de que, si los índices hidrológicos son elegidos cuidadosamente y evaluados correctamente, puedan ser importantes para detectar los efectos de un clima cambiante. Además, ciertas respuestas del ciclo hidrológico al cambio climático pueden estar "hidromagnificadas" (Pilon y otros., 1991; Burn, 1994). Esto significa que el cambio en el sistema hidrológico puede ser mayor que el que cabría esperarse de las variables climatológicas observadas.

En el desarrollo de una lista de índices hidrológicos, se ha intentado ofrecer sólo los considerados más sencillos de usar. Una amplia vigilancia adicional de distintas variables climatológicas e hidrológicas sería ventajosa para comprender las causas del cambio. Los puntos listados en la tabla de las págs. 284-285 ofrecen de esta forma un conjunto experimental de índices que permiten evaluar los cambios tanto de la frecuencia como de la magnitud del flujo fluvial a lo largo de todo el régimen del flujo fluvial. También incluyen el ritmo de rotura de hielo, índices rela-

cionados con la sequía y las inundaciones, con los glaciares y con la nieve, además de algunos otros factores. En muchos casos, los índices propuestos necesitarían registros diarios de caudal.

Como ya se ha discutido anteriormente en este artículo, se recomienda restringir las cuencas a aquellas que estén mínimamente afectadas por las actividades humanas directas o, como mínimo, a aquellas en las que la intervención ha sido estable a lo largo del período de medida de interés. No debería entenderse el uso de esas "cuencas estables" como una aprobación del flujo fluvial "naturalizante", ya que los registros de flujo de cuencas estables no tienen por qué necesitar modificaciones previas a su uso analítico. Más bien, sólo se está haciendo referencia al hecho de que tal registro sería útil para un investigador que llevara a cabo un estudio de detección del cambio climático inducido. La aceptación de datos de un período estable implica que la intervención es constante con el tiempo.

No se da una prioridad específica a las variables que se listan en la tabla. Debería destacarse que no se han incluido en la lista algunos índices, que podrían ser considerados como variables hidrológicas básicas. Entre ellos están, por ejemplo, la precipitación y la temperatura del aire. La razón es que el grupo de trabajo conjunto CCI/CLIVAR sobre índices climáticos prioritarios, que ofrece las entradas al IPCC sobre este tema, ya ha incluido tales variables como índices climatológicos y, por lo tanto, son objeto de un amplio estudio por parte de los científicos del clima. Los índices que se muestran en la tabla reflejan la base y la experiencia de los diversos expertos en hidrología que han aportado sus puntos de vista sobre este problema (véase el apartado de agradecimientos). Aunque también se estudiaron los índices de concentraciones y de cargas de sedimentos, además de variables de calidad del agua, tales como la concentración de contaminantes y de nutrientes, se decidió no proponerlos esta vez como índices de cambio porque reflejan mucho la actividad humana directa o los procesos catastróficos naturales (por ejemplo, los corrimientos de tierras). Su uso podría ser potencialmente difícil para detectar los efectos del cambio climático.

Conclusiones

Se pueden usar los índices hidrológicos como importantes indicadores en los estudios del cambio climático. Es importante, de todas formas, que se lleven a cabo las medidas apropiadas de las variables hidrológicas, cualesquiera que se elijan y siempre que sea posible, en cuencas fluviales prístinas. Por desgracia, tales cuencas no son abundantes debido al uso extensivo de la tierra y a otras actividades humanas. La OMM, como organización fundamental dentro del sistema de las Naciones

Unidas encargada de los temas tanto climatológicos como hidrológicos, tiene una oportunidad única de contribuir a este importante trabajo. Se recomienda aquí a la Organización que fomente mucho el desarrollo de las redes nacionales, regionales y mundiales para estudiar y almacenar información de las cuencas fluviales prístinas. Se podrían almacenar los datos de tales cuencas, y ponerlos a disposición de la comunidad científica, de los encargados de tomar decisiones y de los políticos oportunos a través del Centro mundial de datos de escorrentía de Coblenza, Alemania. Se sugiere además que se fomenten los estudios de índices hidrológicos para la detección del cambio climático. Esta podría ser un área adecuada para que la Comisión de Hidrología (CHI) de la OMM centrara en ella sus esfuerzos, a través de su amplia red de expertos de todo el mundo. Además, la OMM, la CHI y las asociaciones regionales de la OMM podrían promover evaluaciones regulares de los índices existentes, hacer recomendaciones y ofrecer líneas maestras a los países para alcanzar una cobertura sistemática nacional, regional y mundial. Se podrían ejecutar proyectos asociados a estos intentos a través del marco ya existente del Programa Mundial sobre el Clima — Agua de la OMM/UNESCO.

Agradecimientos

La sección sobre índices hidrológicos y la tabla de la página 284 a 285 están basados, en gran medida, en las opiniones y en las contribuciones de varios expertos en hidrología, incluidos: D. Burn, F. Chiew, K. D. Harvey, H. Hisdal, Z. Kundzewicz, H. Lins, T. B. M. J. Ouarda, R. Phinney, P. J. Pilon y T. Yuzyk.

Referencias

- BRUCE, J. P., I. BURTON e I. D. M. EGENER, 1999: Disaster Mitigation and Preparedness in a Changing Climate. Preparado por Emergency Preparedness Canada, Environment Canada and the Insurance Bureau of Canada (borrador).
- BURN, D., 1994: Identification of a data collection network for detecting climatic change, *Canadian Journal of Water Resources*, 19 (1), 27-38.
- ENVIRONMENT CANADA, 1996: *Climate Network Rationalization*. Atmospheric Environment Service, National Weather Services Directorate Downsview, Ontario, noviembre, 48 págs. más 116 págs. de anexos.
- ENVIRONMENT CANADA, 1999(a): Canada's Reference Hydrometric Basin Network. Atmospheric Monitoring and Water Survey Directorate, Environment Canada, Downsview, Ontario (borrador).
- ENVIRONMENT CANADA, 1999(b): *Development of a GCOS Plan for Canada: The Hydrologic Component*. Atmospheric Monitoring and Water Survey Directorate, Environment Canada. Downsview, Ontario (borrador).
- FRANCIS, D. y H. HENGEVELD, 1998: *Climate Change Digest — Extreme Weather and Climate Change*. Environment Canada Publication.
- SISTEMA MUNDIAL DE OBSERVACIÓN DEL CLIMA (SMOC), 1998: *Report on the adequacy of the global climate observing systems*. (Informe sobre la suficiencia de los sistemas mundiales de observación del clima), COP4, SMOC-48, Buenos Aires, Argentina, 2-23 de noviembre, 34 págs.
- IPCC, 1996(a): *Climate Change 1995. The Science of Climate Change*. (Cambio Climático 1995. La ciencia del cambio climático). Cambridge University Press. 572 págs.
- IPCC, 1996(b): *Climate Change 1995. Impacts, adaptation and mitigation of climate change: Scientific-technical analysis*. (Cambio Climático 1995. Efectos, adaptación y mitigación del cambio climático. Análisis científico-técnico). Cambridge University Press. 879 págs.
- JONES, P. D., 1994: Hemispheric surface air temperature variations: a reanalysis and an update to 1993. *Journal of Climate*, 7, 1794-1802.
- LAWFORD, R. G., 1992: Hydrological indicators of climate change: issue or opportunity? Aparece en: *Proceeding of the NHRI Workshop*, n.º 8, Utilización de datos hidrológicos para detectar y vigilar el cambio climático. Environment Canada, NHRI, Saskatoon, Saskatchewan, 247 págs.
- PETERSON, T., H. DAAN y P. JONES, 1997: *Initial Selection of a GCOS Surface Network (Selección inicial de una red SMOC superficial)*, SMOC-34, OMM/TD n.º 799, 14 págs.
- PILON, P. J., T. WINKLER, K. D. HARVEY y D. R. KIMMETT, 1991: Hydrometric data in support of climate change studies in Canada. Presentado en la reunión de trabajo de Investigación Avanzada de la OTAN sobre Oportunidades de los Datos Hidrológicos como Apoyo a los Estudios de Cambio Climático, Lahnstein, Alemania, 26 — 30 de agosto.
- NACIONES UNIDAS, 1977: *Report of the United Nations Water Conferences (Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua)*, Mar del Plata, 14 — 25 de marzo de 1977. E/CONF.70/29. 181 págs.
- NACIONES UNIDAS, 1992: *Earth Summit. Agenda 21 (Conferencia sobre la Tierra. Agenda 21)*. Programa de Acción de Río de las Naciones Unidas. Capítulo 18: Protección de la calidad y del suministro de los recursos de agua potable. Aplicación de enfoques integrados para el desarrollo, la gestión y el uso de los recursos hídricos. 166-185. Página de Internet: <http://www.un.org/esa/sustdev/agreed.htm>
- NACIONES UNIDAS e INSTITUTO DEL MEDIO AMBIENTE DE ESTOCOLMO, 1997: *Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World (Valoración Global de los Recursos de Agua Potable del Mundo)*. E/NCN.17/1997/9. 52 págs.
- VOSE, R. S., R. L. SCHMOYER, P. M. STEURER, T. C. PETERSON, R. HEIM, T. R. KARL y J. EISCHEID, 1992: *The global historical climatology network: long-term monthly temperature, precipitation, sea level pressure and station pressure data*. ORNL/CDIAC-53, NDP-041, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- MITCHELL, J. M. JR., B. DZERDZEEVSKII, H. FLOHN, W. L. HOFMEYR, H. H. LAMB, K. N. RAO y C. C. WALLEN, 1996: *Climate Change (Cambio climático)*. OMM-N.º 195, Nota Técnica N.º 79, 79 págs.
- OMM, 1986: Líneas maestras sobre la selección de estaciones climatológicas de referencia (RCS) a partir de la red de estaciones climatológicas existente, PMC-116. OMM/TD-N.º 130, 18 págs.
- OMM, 1988: *Technical Regulations (Regulaciones Técnicas)*. OMM-N.º 49, Capítulo D.1 — Hidrología Operativa, p. D.1.1, 1-3.