

Crecidas de febrero de 2000 en Sudáfrica: características y regulación de los embalses en lugares seleccionados

Por Stéfan van BILJON *

Introducción

Sudáfrica tuvo una estación muy lluviosa en la mayor parte de las zonas de lluvias estivales. Los niveles de almacenamiento de los embalses ya superaban el 71 por ciento de la totalidad de la capacidad de suministro total (CST) a finales de diciembre de 1999 con un nuevo aumento de hasta el 88 por ciento a finales de febrero de 2000. Todas las cuencas vertientes estaban prácticamente saturadas y la presencia de nuevas lluvias podría hacer que la mayor parte de los ríos se convirtieran en ondas de avenida devastadoras. En el intervalo de dos semanas se sucedió una combinación de dos sistemas meteorológicos con gran precipitación, originando numerosas muertes y grandes daños a la infraestructura del sur de África. En Mozambique se produjeron grandes pérdidas como resultado de la escorrentía local y del paso de las crecidas provenientes de los países situados aguas arriba.

La red de vigilancia de la Dirección de Hidrología sufrió graves pérdidas en términos de daños a las estructuras de aforo, a las carreteras de acceso y a la instrumentación. El daño a los sistemas de información en tiempo real (tanto por satélite como por módem celular) al norte, este y nordeste de Pretoria fue inmenso, inutilizándolos para la alerta de crecidas y para el estudio de la progresión de la crecida a lo largo de la mayor parte de los ríos afectados. La ayuda de observadores particulares que tomaban lecturas en Beit Bridge, sobre el río Limpopo, permitió a la Dirección dar información a Mozambique al menos una vez por día. Algunas personas se dieron cuenta de que no funcionaban los instrumentos de algunos lugares e hicieron lecturas manuales en las escalas de aforo por propia iniciativa. Esto fue muy útil para reconstruir los hidrogramas de esos lugares.

Este artículo es un extracto de una exposición del autor en un congreso sobre las inundaciones de febrero de 2000 en el sur de África, en la Universidad de Pretoria, del 11 al 12 de mayo de 2000.

Sistemas meteorológicos y precipitación

Una depresión tropical se desplazó en dirección sur desde Beira y siguió después en dirección oeste hacia Zimbabwe, Botswana y Sudáfrica, donde permaneció desde el 4 hasta el 14 de febrero. Fue interesante observar a través de las imágenes de satélite la formación de grandes células de precipitación sobre estas áreas, que afectaban también a zonas extensas de Mpumalanga. En cuanto al mapa hidrográfico de Sudáfrica, las zonas afectadas fueron principalmente toda la cuenca del Limpopo, llegando por el sur hasta el río Crocodile en la Provincia del Noroeste y a los ríos Crocodile y Sabie en Mpumalanga. Los picos de crecida más altos se observaron en el río Lower Komati, después de la confluencia con el río Crocodile. Más al norte, las crecidas más grandes se produjeron en los ríos Sabie, Mutale, Luvuvhu y Sand. Aunque también se desbordó, el río Olifants no llegó a alcanzar niveles récord.

Mientras la mayor parte de los ríos al norte y al este de Pretoria seguían desbordados, el centro del ciclón *Eline* cruzó la línea de costa de Mozambique a unos 90 km al sur de Beira la tarde del 22 de febrero de 2000. El centro de *Eline* se localizaba a unos 200 km al sudeste de Harare a las dos de la madrugada del 23 de febrero. Aunque se estaba debilitando, se registraron grandes cantidades de precipitación en las bandas en espiral de lluvia situadas a cierta distancia del centro del ciclón. Las partes septentrionales de Sudáfrica y Zimbabwe continuaron sufriendo lluvias intensas hasta el 25 de febrero, mientras que en Botswana y en Namibia la lluvia duró hasta finales de mes. Esta precipitación produjo un aumento de la escorrentía de crecida, en particular la del río Limpopo, donde el grueso del agua del anterior episodio meteorológico estaba todavía camino de Beit Bridge, alcanzando su máximo durante la noche del 24 al 25 de febrero.

La Tabla I resume la frecuencia de los episodios de precipitación en estaciones pluviométricas seleccionadas (Adamson, 1981) y los análisis de frecuencia actualizados realizados en la Dirección de Hidrología.

* Departamento de Asuntos Hídricos y Forestales, buzón privado X313, Pretoria, Sudáfrica.

Las frecuencias de crecida experimentadas se han obtenido a partir de la probabilidad condicional de tener dos sistemas distintos cuyas lluvias afecten fundamentalmente a las grandes cuencas.

Información de las crecidas en lugares seleccionados

Debido a los grandes daños sufridos por la mayor parte de las estaciones de aforo de los ríos de la zona devastada por las inundaciones, no se conoce la forma de la mayoría de los hidrogramas de crecida. La Dirección de Hidrología se está ocupando actualmente de examinar los informes de las estaciones de aforo para determinar los picos de crecida y ha recibido una ayuda inestimable del personal de las oficinas regionales. Un equipo de técnicos de la Oficina Regional del Cabo Occidental ayudó al personal de las Oficinas Regionales de Mpumalanga y de la Provincia del Norte y de la Oficina Central. Todavía hay que estudiar estos informes antes de poder determinar los picos de crecida. Ahora mismo sólo se dispone de información de unos pocos sitios y deberá ser analizada. Es una gran desgracia no poder determinar los hidrogramas, ya que los análisis de frecuencia del volumen de la crecida podrían haber ilustrado la severidad de la inundación de forma mucho más amplia que los simples picos de crecida.

Río Komati en Komatipoort

El Komati se mide alrededor de 1 km por encima de la frontera con Mozambique y unos pocos kilómetros aguas abajo de la confluencia del Crocodile con el Komati. La estación de aforo consta de un aliviadero de pared delgada con escalas. En Hoogenoeg (justo aguas arriba de la frontera de Suazilandia), el río Komati no registró un episodio notable de gran crecida. Sin em-

bargo, las aportaciones aumentaron en Suazilandia y aguas abajo, arrastrando también agua del Embalse de Driekoppies. La mayor parte del agua del lugar provenía del río Crocodile. El máximo de crecida se observó a 12,44 m de altura, 5,24 m más que el pico de la crecida provocada por el ciclón *Domoina* en 1984.

La Figura 1 representa los picos de crecida máximos observados en Komatipoort. Debido a que la estación de aforo sólo lleva en funcionamiento desde 1980, la mayor parte de la información sobre máximos de crecida se ha obtenido a partir de la información histórica recogida de las marcas de crecida anotadas en planos de puentes y directamente en los propios puentes (Van Bladeren, informes no publicados). El pico de crecida más alto del lugar se observó el 8 de febrero de 2000. La carretera de acceso resultó seriamente dañada. Debido a los grandes caudales, en el momento de escribir este artículo se desconocen los daños de la estación de aforo. El lugar estaba equipado con una plataforma de recogida de datos (PRD) que transmitía las lecturas de altura y la precipitación cada hora a través del satélite METEOSAT. Esta información se muestra en tiempo casi real en la página *Web* de Hidrología (<http://www.dwaf.gov.za/directorate/hydrology>) y las autoridades de Mozambique la visitan a menudo para avisos de inundación. Los instrumentos están alojados en una caseta de hormigón armado, que se inundó completamente durante la crecida.

Río Sand en Waterpoort

La estación de aforo de Waterpoort funciona desde 1966 por medio de un aliviadero de pared delgada con escalas colocado justo aguas arriba del puente de la carretera del río Sand. La estructura y los instrumentos de medición resultaron seriamente dañados por la inundación. El máximo de crecida de 5 100 m³ s⁻¹ se

TABLA I
Probabilidad de sobrepasar medidas de precipitación en uno y dos días

Lugar	Fecha y lluvia máxima en un día (mm)	Probabilidad aproximada de sobrepasarla (%)	Fecha y lluvia máxima en dos días (mm)	Probabilidad aproximada de sobrepasarla (%)
Graskop	6 feb.: 302	0,8	6-7 feb.: 413	<0,5
Skukuza	6 feb.: 80	42	6-7 feb.: 155	8
Nelspruit	6 feb.: 106	11	6-7 feb.: 175	2,4
Tzaneen (Grenshoek)	24 feb.: 283	1,7	23-24 feb.: 399	2
Letsitele	24 feb.: 150	12	23-24 feb.: 274	1
Phalaborwa	24 feb.: 115	10	23-24 feb.: 223	0,5
Louis Trichardt	6 feb.: 233	0,5	23-24 feb.: 248	0,6
Levubu	7 feb.: 433	<0,5	6-7 feb.: 455	<0,5
Thohoyandou	23 feb.: 199	8	23-24 feb.: 368	<0,5
Soekmekaar	2 feb.: 226	<0,5	23-24 feb.: 347	<0,5

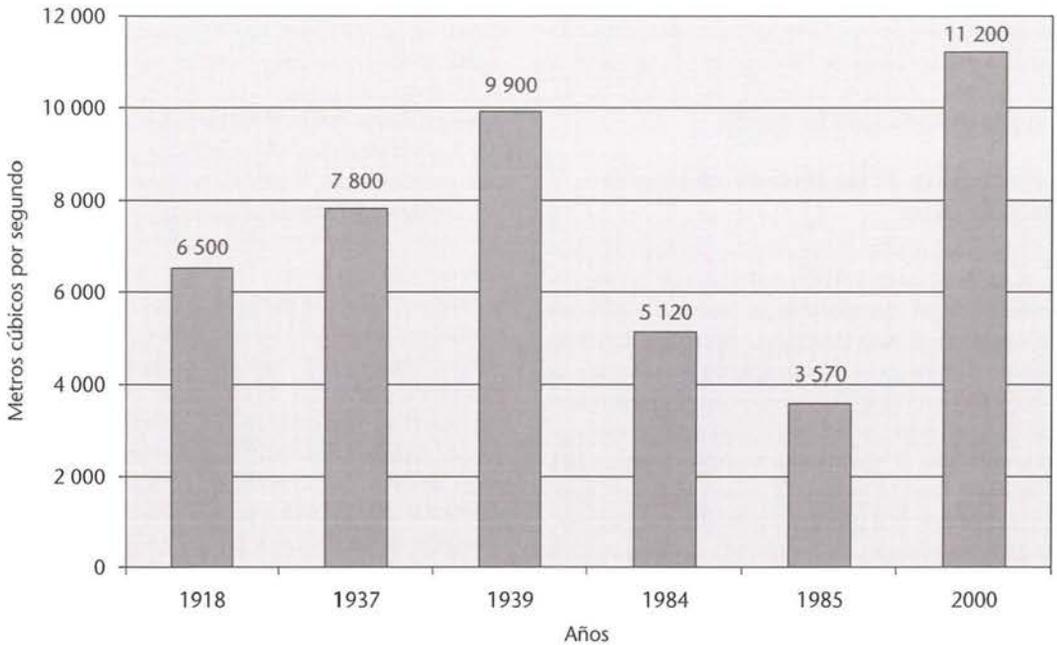


Figura 1 — Picos de crecida máximas observados en el río Komati, en Komatiport

obtuvo de un examen realizado en cinco secciones a unos 10 km aguas arriba, donde la línea de ferrocarril fue barrida. Los caudales anuales son enormemente variables. Todavía hay que verificar si contribuyó al pico una posible rotura de una presa aguas arriba. Ahora se plantea la cuestión de rehabilitar o no la estación. La variabilidad extrema sugiere que puede ser poco aconsejable explotar el río para fines de abastecimiento de agua salvo, quizás, para pequeñas extracciones de agua potable junto con agua subterránea y otras fuentes. Para este fin, puede que baste con los datos disponibles.

Río Limpopo en Beit Bridge

El río Limpopo se mide en el viejo puente que cruza el río (usado generalmente como camino) y unos pocos cientos de metros aguas abajo en una presa construida para suministrar agua a Messina. Esta estación es importante para los avisos de crecidas a Mozambique. Las autoridades pidieron al Departamento de Asuntos Hídricos y Forestales que les avisaran de los caudales de crecida mayores de $700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Durante años, la Dirección de Hidrología luchó con el atarquinamiento en el tubo de entrada de un registrador mecánico montado sobre el viejo puente. Posteriormente, con la construcción de la presa, la Dirección aprovechó la oportunidad para utilizar también la presa como estructura de aforo. Por desgracia, el lecho rocoso de la orilla derecha es profundo y se construyó una entrada en la parte del río correspondiente a Zimbabwe, originando toda clase de problemas operativos. La presa contaba con un sistema de almacenamiento electróni-

co de datos Thalimedes, y también con una PRD por satélite. Los frecuentes actos de vandalismo sufridos por la estación originaron una disminución de la calidad de los registros. Antes de la inundación de febrero los instrumentos se trasladaron más lejos del río por motivos de seguridad, y la electricidad se obtuvo de la red nacional. Algunos problemas técnicos impidieron que la PRD por satélite estuviera operativa en febrero, al comienzo de la crecida. Entonces se tomaron observaciones manuales en el puente, y el Thalimedes funcionó hasta que se lo llevó la corriente. Aunque no estaba operativa en aquel momento, la PRD por satélite no sufrió ningún daño.

La Figura 2 muestra los picos de crecida máximas observados en la estación, con parte de la información obtenida de marcas de crecida sobre planos y puentes (Van Bladeren, informe no publicado). Con anterioridad, en la estación se habían observado mayores picos de crecida. Las importantes aportaciones, aguas abajo de Beit Bridge, de los ríos Sand, Levuvhu y Mutale, contribuyeron al que debe haber sido uno de los principales episodios de crecida en Pafuri. Los volúmenes de crecida deben contarse entre los más altos registrados en Pafuri pero, por desgracia, no se dispone de ningún dato. Además de por la accesibilidad, Pafuri no se presta a aforos precisos debido a lo llano del terreno.

La Figura 3 resume los hidrogramas de escorrentía anual del Limpopo en Beit Bridge. La escorrentía para el año 2000 muestra sólo una parte del volumen (hasta el 6 de marzo de 2000) comparada con los

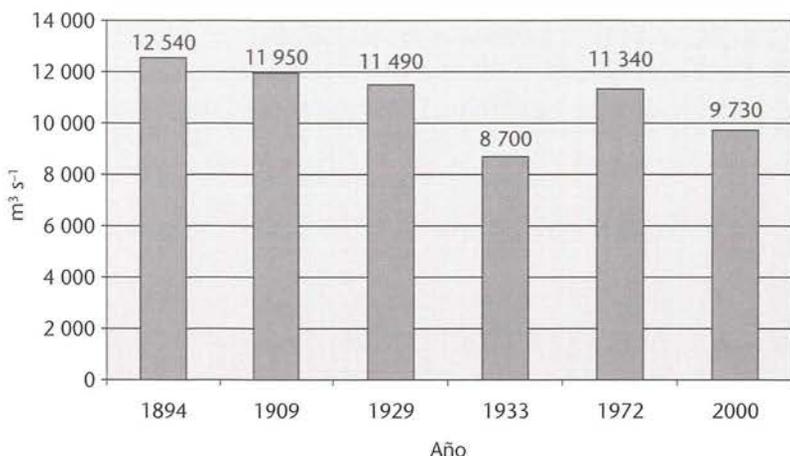


Figura 2 — Picos de crecida máximas del río Limpopo, en Beit Bridge

datos de los años hidrológicos completos del resto del gráfico. Resulta importante observar la extrema variabilidad con caudales nulos de algunos años. En el gráfico se indica que la escorrentía anual media es de $1\,760 \times 10^6 \text{ m}^3$. La Figura 4 muestra un hidrograma del río Limpopo. Es interesante observar que el volumen de la crecida después de un período de catorce días es el doble de la escorrentía anual media.

Regulación de los embalses en el sistema del río Crocodile (oeste)

La regulación de los embalses con aliviaderos de compuerta plantea un desafío mayor que los de aliviaderos de labio fijo. Teóricamente, en el funcionamiento de los primeros interviene el hombre y la eficacia de la operación se puede optimizar con la información ob-

tenida del comportamiento de la crecida aguas arriba de la cuenca. Las presas con aliviaderos de labio fijo siempre atenúan el pico de la crecida que llega. El grado de atenuación es función de la CST de la presa, de la relación entre el área y la capacidad, de la capacidad del aliviadero y del tamaño de la crecida —por nombrar sólo algunos factores—. La regulación del sistema del río Crocodile (oeste) tiene interés por estar constituido

Presa de Hartbeespoort

La Presa de Hartbeespoort del río Crocodile tiene una CST de $186 \times 10^6 \text{ m}^3$ y una cuenca receptora de $4\,112 \text{ km}^2$. La presa está equipada con compuertas de superficie que deben ser manipuladas por funcionarios de la DAHF de la presa. La cuenca drena las tierras altas situadas entre los ríos Crocodile y Limpopo y recibe los vertidos residuales y pluviales de algunas zonas de Pretoria y Johannesburgo. El tiempo de respuesta de la cuenca a las inundaciones es pequeño, de unas 12 horas, lo que da pocas oportunidades para la descarga

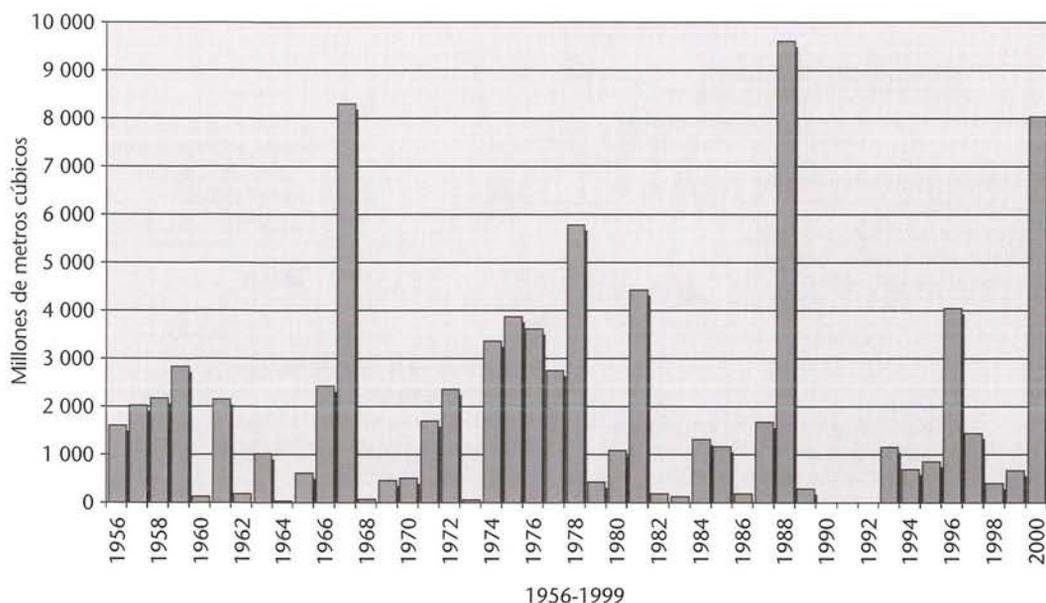


Figura 3 — Escorrentía anual del río Limpopo, en Beit Bridge

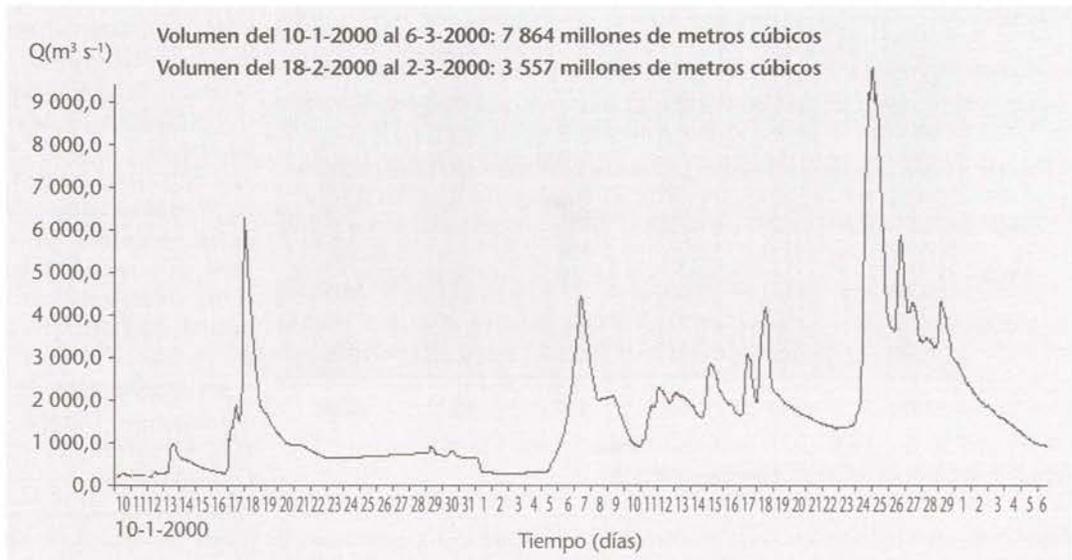


Figura 4 — Hidrograma del río Limpopo, en Beit Bridge

24

previa de agua de la presa en situaciones de crecida. Una PRD por satélite instalada en el río Crocodile en Kalkheuvel proporciona la única información aguas arriba de las condiciones de la crecida y de la precipitación en la cuenca. El tiempo de recorrido de la crecida desde Kalkheuvel hasta el Pantano de Hartbeespoort es de aproximadamente tres horas. Para todos

los fines prácticos, los operadores no tienen ninguna información de lo que ocurre aguas arriba. Durante la crecida de febrero los instrumentos se inundaron y posteriormente fueron arrastrados por la corriente.

La regulación del embalse se lleva a cabo accionando las compuertas. El único indicador es el nivel del agua. Un método sencillo de regulación es mantener el

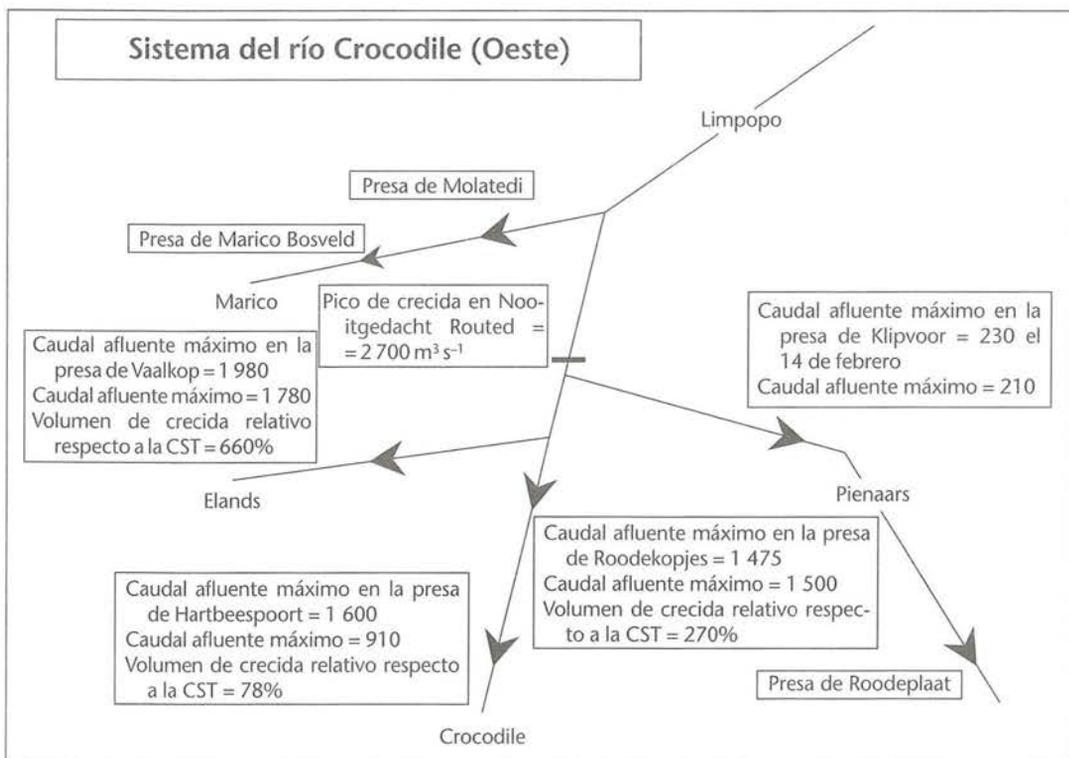


Figura 5 — Disposición esquemática de las presas más importantes del sistema del Crocodile (no está dibujado a escala)

nivel del agua en la parte superior de las compuertas, es decir, el nivel del agua dicta la elevación, la bajada y el cierre de las compuertas. Este método suaviza el hidrograma de la crecida e impide daños aguas abajo. El personal de la presa emitió alertas de crecidas a los habitantes situados inmediatamente aguas abajo por medio del teléfono, de la radio y de otros tipos de comunicaciones establecidos para la agricultura. La entrada de caudal en la presa llegó a $1\,600\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$. La salida máxima de caudal fue de sólo $910\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$, lo que representa un 43 por ciento menos que el pico de flujo afluente.

Presa de Roodekopjes

La presa de Roodekopjes está situada aguas abajo del embalse de Hartbeespoort. Está equipada con compuertas de superficie controladas por la Junta de Riego. La presa estuvo a un 94,8 por ciento de su capacidad al mediodía del 8 de febrero, alcanzando un nivel máximo de almacenamiento del 113 por ciento a las 23 horas del 10 de febrero. La regulación siguió estrictamente el hidrograma del caudal afluente. Por desgracia, no se pudo atenuar el pico de crecida. El volumen del caudal afluente del hidrograma en la presa de Roodekopjes fue de $280 \times 10^6\text{ m}^3$ entre las 9 horas del 8 de febrero y las 13 horas del 13 de febrero. Este volumen es 2,7 veces mayor que la CST de la presa. El pico de la crecida fue de $1\,700\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ si se calcula por horas, mientras que la media móvil del pico en seis horas se calculó en $1\,475\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$. El caudal de salida máximo fue de $1\,508\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ el 10 de febrero entre las 20 y las 21 horas.

Presa de Vaalkop

La presa de Vaalkop almacenó un 81 por ciento de su CST de $56 \times 10^6\text{ m}^3$ al mediodía del 8 de febrero de 2000. En unas ocho horas, el nivel de la presa aumentó un 100 por ciento. La presa tiene un aliviadero de labio fijo y no se puede hacer gran cosa en cuanto a la regulación de las crecidas, aparte de abrir las compuertas normales de descarga del río. El almacenamiento má-

ximo de la presa de Vaalkop alcanzó el 162 por ciento de su CST el 11 de febrero a las 15 horas. El pico máximo del caudal afluente fue de $1\,980\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$, mientras que $1\,780\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ salieron por el aliviadero. Se atenuó el pico de la crecida en un 10 por ciento. El volumen total de agua que entró entre las 12 horas del 8 y el 14 de febrero fue más de 6,6 veces la CST de la presa.

Sin ningún aporte local, se determinó que el pico de la crecida propagado por el río Crocodile en Nooitgedacht, que está situado justo aguas abajo de la confluencia del río Pienaars con el Crocodile, había llegado al máximo de $2\,700\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ en las primeras horas del 12 de febrero de 2000. Las crecidas locales podrían haber aumentado fácilmente este valor hasta dar un total de más de $3\,000\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$.

Frecuencias de crecida y valores K del RMF

La crecida de febrero de 2000 se caracterizó por su extensión espacial en el norte y nordeste de Sudáfrica. Dos sistemas distintos productores de lluvia contribuyeron a la inundación. Persiste la duda de si se vivieron episodios récord. Los picos de la crecida en las presas se tomaron como los caudales afluentes máximos en una hora. La Tabla II examina esta cuestión por comparación con los valores K del RMF de crecida (Kovacs, 1988) y con las frecuencias determinadas por la Dirección de Hidrología. Es evidente, a partir de la tabla, que los valores K del RMF recomendados no necesitan ser revisados ahora, al menos para el limitado número de estaciones investigadas.

Discusión general sobre el efecto de las presas sobre los caudales de la crecida aguas abajo

Se trató el sistema de embalses del Crocodile (oeste) porque consta de algunas presas equipadas con aliviaderos de labio fijo y de otras con compuertas de super-

TABLA II
Frecuencias de crecidas y valores K

Río	Cuenca de drenaje (km ²)	Pico de crecida (m ³ s ⁻¹)	Probabilidad de sobrepasarlo	Valor K	Valor K recomendado (Kovacs, 1988)
Komati, en Komatipoort	21 481	11 200	<0,5	4,68	5,2
Sand, en Waterpoort	7 703	5 100*	<0,5	4,43	5,0
Limpopo, en Beit Bridge	201 000	9 730	2,4	2,74	4,0
Crocodile, en la presa de Hartbeespoort	4 112	1 600	3,6	3,63	5,0
Crocodile, en Roodekopjes	6 129	1 700	2,2	3,43	5,0
Elands, en la presa de Vaalkop	6 110	1 980	0,7	3,59	4,6-5,0

* Por determinar todavía si se puede considerar este valor como un pico de crecida natural.

ficie. Estas últimas plantean la gran amenaza de agravar la situación corriente abajo si no se regulan con eficacia. Se demostró que la presa de Hartbeespoort reguló con eficacia, atenuando la crecida del pico del caudal afluente en un 43 por ciento. Roodekopjes no consiguió atenuar el pico de la crecida; la crecida que llegó pasó en su mayor parte sin alteraciones aguas abajo. La presa de Vaalkop mostró la característica notable de un aliviadero de labio fijo con respecto a la atenuación de la crecida, alcanzando un 10 por ciento de reducción del pico aunque pasó un volumen de crecida 6,6 veces mayor que su CST. También es destacable la otra característica de los aliviaderos de labio fijo, de retardar el pico de flujo entrante. La Tabla III resume la capacidad de almacenamiento de las presas principales y de las menores, en las zonas afectadas por las crecidas. Aunque se produjeron algunas averías o daños importantes en las presas pequeñas, la amenaza se limitó a las zonas situadas inmediatamente aguas abajo. Las capacidades totales de almacenamiento de las presas más pequeñas son considerablemente menores que las de las presas principales. La onda de avenida por apertura de la presa que resulta de las presas más pequeñas se atenuaría aproximadamente de forma exponencial con la distancia desde la estructura debido al almacenamiento dentro del río y en las zonas inundables.

Conclusión

- Aunque los mayores picos de crecida registrados se observaron en los ríos Komati y Sand durante las crecidas de febrero, la decisión de volver a evaluar los valores K del RMF, como se recomendó en el informe de Kovacs de 1988, tendrá que esperar hasta que se disponga de más información. Está claro, por las cantidades de precipitación y por los informes del personal que realizó las visitas de campo, que las crecidas de los ríos Sabie, Luvuvhu, Mutale y Sand fueron enormes.

- Habría que destinar recursos para la reparación de los daños causados por las crecidas a la red de estaciones de aforo. Si los fondos están restringidos, habría que formular prioridades para volver a tener operativas tan pronto como sea posible las estaciones de aforo más importantes.
- Actualmente se ha mejorado el 73 por ciento de la red de medición con sistemas electrónicos de almacenamiento de datos, siendo utilizado el antiguo equipo mecánico como reserva. Los nuevos registradores electrónicos se pueden alejar del río ya que no se necesita ningún sistema de entrada de agua. Esta debería ser la forma de proteger los instrumentos electrónicos de las inundaciones a la vez que se mantienen funcionando como un sistema de aviso de crecidas en tiempo casi real.
- Puede que sea necesario cambiar de lugar algunas estaciones de aforo importantes, donde el cauce del río se haya ensanchado considerablemente y donde los costes de reparación sean excesivos.
- La vulnerabilidad de los sistemas de aviso de crecida de ríos se volvió a experimentar durante las crecidas de febrero de 2000. Se recomienda que, junto con una nueva inversión de equipo en las estaciones de aforo fluviales, se implante un sistema moderno de radar para la determinación espacial de la precipitación. Habría que destinar recursos financieros y humanos a la Oficina Meteorológica de Sudáfrica para este fin. La zona dañada por las crecidas no dispone de ninguna cobertura radar que permita un aviso de precipitación en tiempo casi real.
- Habría que destinar recursos para que la Dirección de Hidrología pudiera asumir un papel más destacado en cuanto a aviso y predicción de crecidas por todo el país. A la fase de puesta en marcha debería preceder un período de evaluación y de desarrollo de modelos.

TABLA III

Presas mayores en las principales regiones de drenaje

Región de drenaje principal	Número de embalses importantes	Número de presas con compuertas de superficie	Capacidad de suministro total de las presas con compuertas de superficie (10^6 m^3)	Capacidad de suministro del conjunto completo (10^6 m^3)
A. Limpopo	24	5	380	1 107
B. Olifants	15	2	152	1 384
C. Crocodile/Komati	9	1	78	612

No se produjo ningún fallo en las presas mayores debido a las normas de diseño aceptadas internacionalmente.

- Habría que animar a la comunidad hidrológica para que desarrollara sistemas de modelización basados en informaciones de satélite y de radar, ya que ofrecen mucha mejor información sobre la amplitud espacial y el movimiento de las tormentas que las observaciones puntuales de precipitación.
- El análisis de la regulación de los embalses ha demostrado que son claramente infundadas las acusaciones de Fred Pearce y de un climatólogo sudafricano, aparecidas en el *New Scientist* del 25 de marzo de 2000, de que el efecto de la regulación de los embalses ocasionaba una inundación mayor en Mozambique. Numerosos ejemplos han demostrado que los embalses no sólo retardaron la propagación de la crecida sino que también atenuaron de forma apreciable los hidrogramas de los flujos afluentes, a pesar de que los volúmenes de la crecida eran muchas veces la capacidad de almacenamiento de los embalses. Además, la escorrentía natural generada en Mozambique es el doble que la de Sudáfrica. Al igual que Sudáfrica y los países vecinos, Mozambique también sufrió precipitaciones extremadamente altas y episodios de escorrentía locales, que se agravaron con la escorrentía proveniente de ríos internacionales.
- En Sudáfrica los embalses se diseñan con almacenamiento interanual de siete y más años. Se estudian cientos de situaciones aleatorias complejas para garantizar un diseño específico y una estrategia operativa. Los hidrogramas anuales de los ríos Sand y Limpopo muestran la variabilidad extremadamente alta de la escorrentía en Sudáfrica. El informe de 1986 sobre la gestión de los recursos hídricos de Sudáfrica muestra la existencia de sequías en esta nación. Está claro que, incluso durante períodos húmedos, es posible tener sequías en algunas partes del país. La ciencia de predecir años húmedos y secos en Sudáfrica es todavía demasiado joven e imprecisa para ejercer una influencia importante sobre las estrategias

de regulación de los embalses a largo plazo. Una disminución de los niveles de los pantanos al comienzo de la estación de lluvias, como sugirió el climatólogo en *New Scientist*, significaría muy poca diferencia, o tal vez ninguna, en Mozambique. Esto se ilustra de forma clara con los ejemplos citados.

Agradecimientos

Se agradecen enormemente los informes, la información sobre picos de crecida y las fotografías de los Sres. Deon Joubert y Danie Viljoen, de Mpumalanga y de la Provincia del Norte, respectivamente y de Johan van Heerden. Mi agradecimiento a mis colegas Brink du Plessis y Hercuele Steyn, que llevaron a cabo el ejercicio de propagación del Sistema del Crocodile (oeste) con el *software* desarrollado por el Sr. André Delpont. También doy las gracias al Sr. Danie van der Spuy, por su amable ayuda al aportar las figuras de frecuencia de crecida recopiladas a partir de análisis realizados en la Subdirección de Estudios de Crecidas, y al Sr. Dirk van der Boon por obtener datos de precipitación de la Oficina Meteorológica. Doy las gracias a los Profesores Alexander y Spoornet por los exámenes realizados aguas arriba de la estación de aforo del río Sand en Waterpoort, con los que conté para los análisis.

Referencias

- ADAMSON, P. T., 1981: Southern Africa storm rainfall. DWAF TR 102.
- COETZER, C., 2000: Floods experienced in the North West Province. Informe borrador de la DWAF.
- Department of Water Affairs, 1986: *Management of the Water Resources of the Republic of South Africa*. ISBN 0 621 11004 3.
- KOVACS, Z., 1988: Regional maximum flood peaks in Southern Africa. DWAF TR 137.
- LANG, M. y K. RAE, 2000: Heavy rain and floods over north-eastern South Africa. <http://cirrus.sawb.gov.za/news/floods.htm>
- PEARCE, F., 2000: The floodgates open. *New Scientist* (25 de marzo de 2000), 16-17.
- VAN BLADEREN, 1997: Report on historical floods. Informe interno de la DWAF no publicado.
- WEATHER BUREAU, 2000: Tropical cyclone Eline: February 2000. <http://cirrus.sawb.gov.za/news/Eline.htm>

