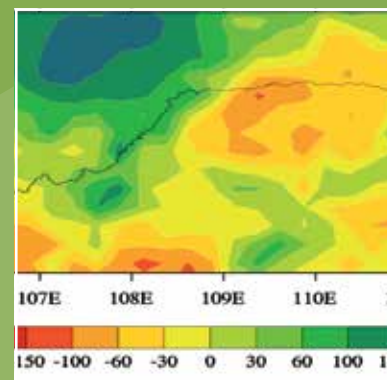


Cómo afrontar los posibles efectos climáticos del proyecto de las Tres Gargantas en China



Jiao Meiyan¹, Song Lianchun², Wang Jun³, Ke Yiming⁴, Zhang Cunjie², Zhou Tianjun⁵, Xu Ying², Jiang Tong², Zhu Changhan², Chen Xianyan², Gao Xuejie², Tang Shihao⁶ y Zhang Peiqun²

El proyecto de las Tres Gargantas en China ha generado una gran preocupación tanto en el interior del país como fuera de él. La gente ha estado discutiendo los pros y los contras de construir una presa tan grande y debaten sus posibles impactos en el medio ambiente local. Desde que se inició la elevación del nivel del agua en el embalse de las Tres Gargantas, han aparecido con frecuencia informes de episodios extremos por toda la región, que incluían tanto las sequías como las crecidas⁷.

Al mismo tiempo, gracias al control de las crecidas, a la generación de electricidad y a la navegación y redistribución de los recursos hídricos, el proyecto ha producido importantes beneficios sociales y económicos. Lo más destacable es la enorme cantidad de energía eléctrica limpia que se genera, lo cual ayuda a mitigar el agotamiento de los recursos naturales no renovables. Por lo tanto, dadas las condiciones sociales actuales, es fundamental realizar una evaluación exhaustiva de los efectos climáticos de la presa para asegurar su operatividad sin dificultades y para facilitar a la opinión pública un análisis científico sólido acerca de si los episodios extremos observados en los últimos años pueden atribuirse al proyecto.

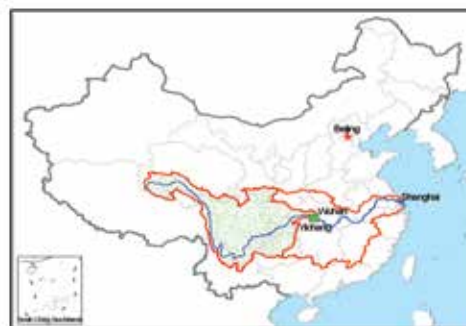
¿Está cambiando el patrón climático en el área del embalse, en las localidades colindantes o incluso en toda la cuenca del río Yangtsé? ¿Puede realizarse una evaluación climática científica, objetiva y cuantitativa, para determinar si los severos episodios meteorológicos ocurridos en los últimos años tienen relación

con la construcción y el funcionamiento del proyecto? Y si así fuera, ¿cuál sería la magnitud del impacto del proyecto?

Para responder estas preguntas, el Centro Climático de Pekín de la Administración Meteorológica de China (CMA) inició, con la participación de reconocidos científicos, un estudio sistemático de los efectos climáticos debidos a la presa. El estudio proporcionó una serie de conclusiones objetivas y científicas sobre los efectos climáticos del proyecto que pueden ser de utilidad en el desarrollo de servicios climáticos que participen en la futura toma de decisiones.

El proyecto

El proyecto de control hídrico de las Tres Gargantas comprende, entre otras cosas, un dique de contención del río, un embalse de agua, unos generadores eléctricos y algunas estructuras para la navegación. Se trata de uno de los mayores proyectos de conservación de agua del mundo, que atraviesa los cañones y las montañas de la provincia de Hubei en su parte central y las áreas montañosas de la parte oriental de la de Sichuan. La presa de las Tres Gargantas controla una superficie de drenaje de 1 millón de kilómetros cuadrados, es decir, el 55,6% de la superficie total de drenaje de la cuenca del río Yangtsé.



Situación de la presa del río de las Tres Gargantas (cuadro verde) y de la cuenca del río Yangtsé (área encerrada dentro de la curva roja, donde la zona con puntos corresponde a los tramos alto y medio del río).

- ¹ Administración Meteorológica de China (CMA)
- ² Centro Nacional sobre el Clima, CMA, Centro Climático de Pekín
- ³ Comisión de recursos hídricos del río Yangtsé, Ministerio de Recursos Hídricos, China
- ⁴ Servicio Meteorológico de la provincia de Hubei, CMA
- ⁵ Instituto de Física Atmosférica, Academia China de la Ciencias
- ⁶ Centro Nacional de Meteorología por Satélite, CMA
- ⁷ El texto completo de este informe, que incluye un análisis de la metodología "Pronóstico de la futura variación climática para el embalse y las áreas colindantes", así como una relación completa de las referencias, está disponible en la versión electrónica del *Boletín*

Cuando el nivel de agua de la presa alcanza la altura deseada de 175 metros, los 632 km² de tierra inundada en el embalse de las Tres Gargantas forman un lago artificial de 600 km de largo y de 1 a 2 km de ancho, que llega a ocupar un área de 1 084 km², capaz de retener 39 300 millones de metros cúbicos de agua y una capacidad de control de la crecida de hasta 22 150 millones de metros cúbicos. El embalse alimenta la estación hidroeléctrica de las Tres Gargantas, que dispone de 34 generadores con una capacidad instalada de 22,5 millones de kilovatios y una capacidad de producir anualmente 88 200 millones de kilovatios hora.

Evaluación de los efectos del proyecto sobre el clima

El estudio de la CMA incluye evaluaciones de los efectos sobre el clima debidos a grandes embalses de agua o lagos en varias regiones del mundo, como el lago Volta en Ghana, el lago Nasser o la Presa Alta de Asuán en Egipto; la represa de Itaipú en la frontera entre Brasil y Paraguay, y las presas de los cañones de Longyang y de Liujiaxia en China. Los resultados revelan que durante el verano las temperaturas de la superficie del agua de embalses y lagos en las diferentes localidades son inferiores que sobre las superficies de tierra circundantes. Como consecuencia de ello, el agua absorbe calor y se acentúa el intercambio de energía entre el agua y las zonas adyacentes. En invierno el proceso se invierte y los lagos y embalses se convierten en fuentes de calor, intensificándose así el intercambio de energía entre los embalses y las áreas colindantes.

Un aumento del intercambio energético entre el embalse y las áreas que lo rodean podría inestabilizar la estructura de la atmósfera, lo que tendría como resultado un cambio en el patrón de la precipitación y en la distribución geográfica de la misma. Sin embargo, estos estudios de los efectos sobre el clima producidos por los grandes embalses han concluido que el almacenamiento en un gran embalse no produce un impacto significativo en el clima de una gran región.

Aspectos científicos

El estudio de los efectos sobre el clima producidos por el embalse debería tener en consideración tres aspectos de tipo científico: el microclima, la interacción entre el embalse y los fenómenos meteorológicos a diferentes escalas, y los efectos climáticos acumulativos del embalse junto con la correspondiente evaluación de riesgos.

Características climáticas básicas en el área del embalse

El área del embalse de las Tres Gargantas cuenta con un clima predominantemente subtropical de tipo monzón. El área es más cálida que la parte oriental de China, aun teniendo la misma

latitud, debido a la influencia térmica de la cordillera Qin. Los inviernos son suaves, los veranos calurosos, las estaciones lluviosas y con altas temperaturas, y las precipitaciones moderadas. La temperatura media anual en la zona oscila entre los 17 °C y los 19 °C, con una variación estacional de la temperatura similar a la de la cuenca del río Yangtsé, pero con un rango de variación anual y diurna menor. Los inviernos cálidos constituyen una característica climática exclusiva del lugar.

La precipitación anual es de 1 000 a 1 300 mm, con un patrón de distribución húmedo-seco-húmedo de oeste a este. Bajo la influencia del monzón, el clima muestra una característica variación estacional, con precipitaciones principalmente entre abril y octubre y los días más lluviosos en mayo y octubre, con un patrón con dos picos que es claramente diferente del patrón con un solo pico que predomina en otras partes de la cuenca del río Yangtsé. La región presenta una distribución espacial del clima un tanto sofisticada, especialmente en el plano vertical. Mientras que las zonas elevadas experimentan veranos frescos y un microclima frío, brumoso y húmedo en invierno, el valle del río es cálido durante el invierno.

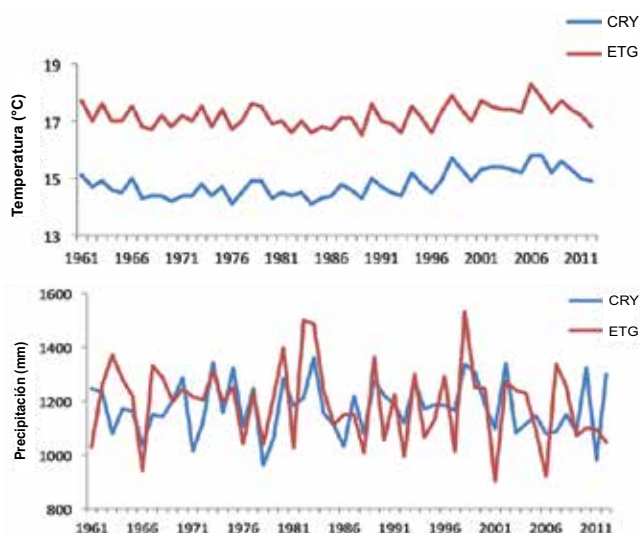
Evolución del clima en el área del embalse y en la cuenca del río Yangtsé

En los últimos 50 años, el área del embalse ha experimentado una tendencia al alza en la temperatura media anual, registrándose el mayor incremento en los últimos 10 años, aunque el aumento sea significativamente menor comparado con el correspondiente a la cuenca del río Yangtsé. Tanto en el área del embalse como en la cuenca del río Yangtsé, la precipitación anual varía de forma significativa, como también lo hacen las cifras de una década a otra. El área del embalse presenta escasas variaciones de la precipitación anual desde la década de 1960 hasta la de 1990, aunque con una disminución importante en los últimos 10 años. Mientras tanto, la cuenca del río Yangtsé se mantuvo anormalmente húmeda en la década de 1990, pero anormalmente seca el resto de años. En los últimos 50 años, más o menos, tanto en el área del embalse como en la cuenca del río Yangtsé se observó una reducción en el número de días de lluvia, en la velocidad media anual del viento y en la humedad relativa, aunque en la primera de un modo menos acusado que en la segunda.

Durante los últimos 50 años, el área del embalse ha mostrado una tendencia en la variación de las sequías y de las crecidas que es básicamente coherente con la observada a lo largo del curso bajo y medio del río Yangtsé. El área del embalse experimentó una significativa reducción en la incidencia anual de los procesos lluviosos consecutivos, de los días de lluvia consecutivos y de la precipitación total debida a los procesos lluviosos consecutivos, pero registró un significativo aumento en el número de días secos, lo que implica un agravamiento en la tendencia a las sequías y una tendencia incierta con respecto a las crecidas. Toda la cuenca del río Yangtsé registró un insignificante aumento de los días de altas temperaturas,

mientras que en el área del embalse este aumento sí que fue significativo. Tanto el área del embalse como la cuenca del río Yangtsé mostraron una reducción notable del número anual de días de tormenta y de niebla.

La cuenca del río Yangtsé ha experimentado una tendencia ascendente en sus temperaturas medias anuales durante los últimos 100 años (1883-2011). Sin embargo, tanto el curso alto del río Yangtsé como el área del embalse de las Tres Gargantas muestran tendencia al enfriamiento. Ambas zonas también han experimentado una pauta significativa de variación cálido-frío-cálido, aunque la tendencia al calentamiento del área del embalse se ralentizó de forma notable en la década de 1990, comparada con otras partes del país. La zona del embalse presenta una tendencia a la variación en los episodios de sequía y crecida que es similar a la de la cuenca del río, aunque significativamente correlacionada con la del curso alto del río.



Variaciones de la temperatura media anual (arriba) y de la precipitación anual (abajo) en el área del embalse de las Tres Gargantas (ETG, línea roja) y en la cuenca del río Yangtsé (CRY, línea azul), de 1961 a 2011.

Principales factores que afectan al clima en el área del embalse

Tanto el área del embalse como la cuenca del río Yangtsé son sensibles a los impactos del cambio climático. Las variaciones climáticas en ambas regiones no se deben exclusivamente a las condiciones geográficas, sino que también se ven afectadas por los grandes sistemas climáticos. El factor más importante es la variación de la circulación atmosférica en Asia pero hay otros factores de forzamiento externo que también juegan un importante papel, como la temperatura de la superficie del mar y la cubierta de nieve. Estudios precedentes mostraron que existe una importante correlación entre la variación de los principales factores climáticos de una década a otra y la variación de la precipitación en la cuenca del río Yangtsé.

Después de 1987, el anticiclón subtropical del oeste del Pacífico se desplazó hacia el oeste y el sur de forma significativa. Desde

mediados de la década de 1980 y hasta la década de 1990, el anticiclón del sur de Asia también se reforzó de forma notable, con mayor presencia de la cubierta de nieve en las tierras altas y con una humedad anómala en verano, especialmente en los cursos bajo y medio del río Yangtsé. Desde la década de 1990, el anticiclón del sur de Asia se debilitó de una forma extraña, dando lugar en las tierras altas a una significativa reducción de la capa de nieve que aún persiste. En la parte oriental de China, las bandas de lluvia empezaron durante esta década a desplazarse hacia el norte, lo que redujo de forma notable la precipitación sobre la cuenca del río Yangtsé a partir del año 2000.

Además, a finales de la década de 1970, el monzón de verano en el este de Asia experimentó un importante debilitamiento en su variación de década a década. Como resultado de ello, tanto el área del embalse como la cuenca del río Yangtsé experimentaron un incremento entre décadas de la precipitación en verano, aunque la cuenca del río Yangtsé llegó a ser anormalmente seca después del año 2000, bajo la influencia de un monzón estival en el este de Asia reforzado de forma constante.

La temperatura de la superficie del mar, otro importante factor de forzamiento externo, también afectaría a la sequía y a las variaciones en las crecidas, sobre todo por el cambio en la posición y en la intensidad del anticiclón subtropical del oeste del Pacífico.

Clima en el área del pantano tras el almacenamiento

En junio de 2003 el nivel del agua del embalse de las Tres Gargantas empezó a subir desde los 69 m hasta los 135 m. En octubre de 2006 alcanzó la marca de 156 m. Durante 2008 y 2009, en una prueba de un mes alcanzó los 172 metros. Cuando el agua llegó a su máximo nivel, 175 m, el 25 de octubre de 2010, el embalse entró en una nueva fase de experimentación durante la cual el nivel del agua permaneció en 175 m en la estación seca (de octubre a abril) para luego caer hasta su nivel más bajo, 145 m, antes de la llegada de las crecidas (generalmente en junio).

Variación de los elementos básicos meteorológicos

Después de la fase de almacenamiento (entre 2004 y 2011), la mayor parte del área del embalse de las Tres Gargantas experimentó una subida de temperaturas en comparación con la situación previa a la actividad (1996-2003), con una temperatura media anual de 17,9 °C a 18,9 °C, o un incremento de temperatura de 0,2 °C. El ascenso de temperatura más significativo ocurrió en el centro del área del embalse, o en Qianjiang (0,47 °C), al sur de dicha zona, seguido por Laifeng (0,39 °C). Sin embargo, el aumento de temperatura no superó el nivel de confianza estadístico del 95%. Más concretamente, los meses de invierno y de primavera registraron un aumento en la temperatura media de 0,3 °C a 1,1 °C, y los meses de verano de 0,1 °C a 0,4 °C. Mientras que en el área del embalse

se observaba una gran variación interanual tanto en las temperaturas extremas máximas como en las mínimas, aunque ambas mostraron una tendencia ascendente general de 0,3 °C y 0,6 °C respectivamente.

En las riberas del embalse se observó un pequeño aumento de la temperatura en comparación con otros lugares en el área del embalse. Los emplazamientos cercanos a la presa de las Tres Gargantas parecieron registrar una tendencia al enfriamiento. Comparando lugares cercanos y distantes al área del embalse se puso de relieve que, tras la fase de almacenamiento de agua, los lugares próximos al mismo registraron algunos cambios en la temperatura debido a la expansión de la superficie de agua, junto con inviernos cálidos y veranos algo más frescos.

El análisis de los datos de satélite producidos con el instrumento MODIS indica que la temperatura de la superficie cercana al área del embalse ha mantenido una tendencia descendente desde 2001, especialmente en la zona de la presa y en los cursos medio y alto del río. Teniendo en cuenta la tendencia al alza de las temperaturas en la zona del embalse en los últimos 50 años, lo anterior concuerda con las tendencias observadas en la variación de la temperatura del suroeste de China y en la cuenca del río Yangtsé. De esta forma, se puede concluir que el almacenamiento de agua no ha ocasionado impacto significativo en las variaciones de temperatura en el área del embalse.

Después del llenado, muchos sectores de la zona del embalse denunciaron un descenso de la precipitación anual, aunque de muy diferentes magnitudes, en su mayor parte de entre un 3% y un 4%. La zona oriental del área del embalse informó de un declive significativo en la precipitación, aunque no hay cambios obvios en la distribución de la precipitación en el área total del embalse. El análisis de los datos de satélite de la misión TRMM muestra que el sector meridional de la cordillera Qin y los lugares cercanos a la presa experimentaron un notable incremento en la precipitación, mientras que el área aguas abajo y el sector sudeste de la zona del embalse sufrieron un descenso. Un análisis realizado sobre una zona más amplia indica que el área del embalse se encuentra en un lugar de transición que conecta una región relativamente húmeda con otra relativamente más seca en el sur. En este contexto, la variación de la precipitación en el área del embalse lleva la impronta de la marca regional del cambio climático sobre un área más amplia.

Después de haber llenado el embalse, en el área del mismo se registró una humedad relativa media anual de entre el 74% y el 78% con una variabilidad interanual limitada y un descenso del 2,4%. La reducción fue de entre un 1% y un 3% en verano e inferior al 1% en invierno. La humedad absoluta aumentó ligeramente. En el área del embalse, la velocidad media anual del viento mostró una tendencia descendente de 0,4 m/s a 2,1 m/s. Las velocidades del viento medidas cerca o lejos de la masa de agua muestran una escasa variación, lo que implica que el embalse tiene poco efecto.

Cambios en la incidencia de los principales episodios climáticos

Con posterioridad al llenado del embalse, en el área se registró un aumento del 32% de los días con altas temperaturas y disminuyó en un 21% el número de días con bajas temperaturas, superando ambos datos el nivel de confianza estadístico del 95%. Sin embargo, se redujo ligeramente el número anual de días secos, aunque esta cifra aumentó ligeramente al final del verano. También se vio reducido el número de días de tormenta, aunque aumentó la magnitud de su intensidad. En cuanto a la ocurrencia de procesos lluviosos continuos y de días con rayos, esta tendió a decrecer. Empieza a llamar la atención el aumento del número de días con bruma.

Modelización numérica de los efectos sobre el clima

Los modelos climáticos regionales ponen de manifiesto que el embalse ocasionaría cierto impacto en el clima de las áreas colindantes, pero no más allá de los 20 km de distancia. El pantano disminuiría de forma notable la temperatura del aire sobre la superficie del agua, en 1 °C en invierno y en 1,5 °C en verano, con solo un descenso de 0,1 °C en las superficies terrestres cercanas al agua. El efecto de enfriamiento por evaporación de la masa de agua podría causar que el aire descendiera y, como resultado de ello, la precipitación también sería menor. Sin embargo, el descenso en la precipitación sería menor en invierno, con un descenso del 1% al 2% en un radio de 10 km, y mayor en verano, de un 10%; esta última cifra se podría reducir hasta un 3% a un radio de 10 km y hasta un 1% a una distancia de 20 km.

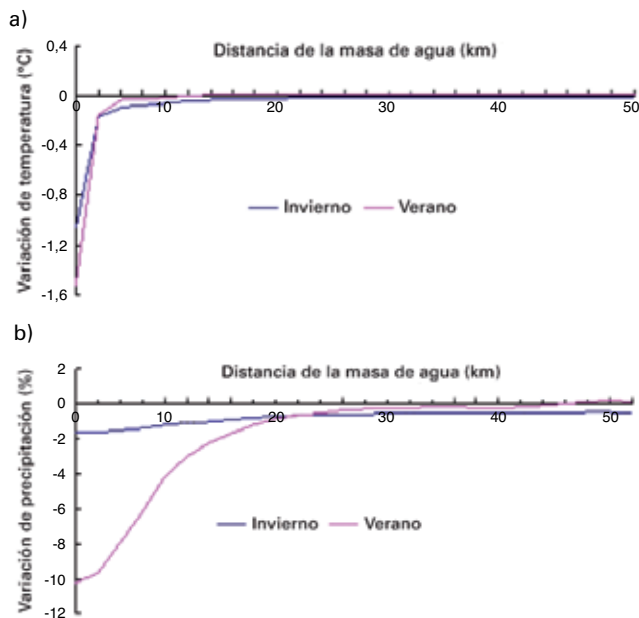
Los resultados de los modelos numéricos muestran que el embalse puede influir en las variaciones de temperatura, humedad y viento a una escala local de unos 10 km, desconociéndose la magnitud de las mismas. Sigue siendo objeto de controversia saber si estos impactos podrían llegar a ser regionales (hasta los 100 km).

Posibles causas de los episodios extremos

El medio ambiente especial, las condiciones climáticas únicas y las actividades humanas alrededor del área del embalse también afectan a la meteorología. En los últimos años, en la zona se ha observado una disminución del número de días con niebla debido al calentamiento climático pero, desafortunadamente, las actividades humanas en constante aumento agravan el problema, de modo que hay más días brumosos. Los fenómenos climáticos extremos observados en la región están también íntimamente relacionados con los cambios en la circulación atmosférica del este de Asia, en los hielos del mar Ártico, en la temperatura superficial de los mares tropicales y en la anomalía térmica de la meseta tibetana-Qinghai.

Las mayores sequías y crecidas que se han producido son principalmente el resultado de variaciones anómalas de

factores climáticos a gran escala que atraviesan el país. Ha habido una variedad de tales episodios, incluyendo los fuertes temporales de lluvias y las graves crecidas ocurridas en Chongqing en el verano de 2007, los desastres originados por las bajas temperaturas en el sur de China a comienzos de 2008 y los días consecutivos de lluvias excepcionales, que ocurren una vez cada 50 años, que tuvieron lugar corriente arriba del embalse en el otoño de 2008.



Alcance del impacto del embalse de las Tres Gargantas en a) la temperatura y b) la precipitación en invierno (línea azul) y en verano (línea roja) en función de la distancia al embalse, simulado por RegCM3/NCC.

Las extensas sequías en las zonas del curso bajo y medio del río Yangtsé en la primavera de 2011 y el cambio repentino entre sequías y crecidas en el verano fueron causados por el comportamiento anómalo de las temperaturas superficiales del mar en el océano Pacífico tropical y en el Índico, de la cubierta de nieve en la meseta tibetana-Qinghai y de las circulaciones atmosféricas euroasiáticas.

Anticipando el cambio climático

Un análisis más profundo de los posibles futuros impactos del cambio climático en el proyecto revela que:

- un incremento en la variabilidad de la precipitación anual en el área del embalse puede dar lugar a una fluctuación de la escorrentía río arriba, ocasionando grandes variaciones en los niveles de agua del pantano y aumentando, en consecuencia, su inestabilidad a la vez que se obstaculiza su funcionamiento seguro;
- un aumento en la frecuencia y en la intensidad de los fenómenos climáticos extremos puede originar crecidas excepcionales, aumentando la presión sobre el control de las mismas;
- un aumento de la variabilidad interanual de la precipitación puede producir más sequías, especialmente durante la

estación seca, afectando al almacenamiento del embalse de las Tres Gargantas, a la generación eléctrica, a la navegación y al medio hídrico; y

- una subida en la temperatura puede agravar la eutrofización de las masas de agua, con lo que aumentaría la vulnerabilidad de los ecosistemas naturales en el área del embalse.

Para mitigar algunos impactos negativos que el cambio climático puede acarrear, se establecerá un sistema de gestión de la adaptación que será constantemente mejorado a nivel de política local con el fin de garantizar la seguridad de la operatividad del embalse. A nivel macropolítico, el apoyo de las autoridades nacionales y locales asegurará dicha adaptación mediante la formulación de planes y la adopción de decisiones relacionadas con la misma. De este modo, la adaptación al cambio climático y la gestión de riesgos de desastre formarán parte de la planificación para el desarrollo del área del embalse, permitiendo un desarrollo socioeconómico sostenible.

Algunas medidas concretas que podrían adoptarse serían las siguientes:

- estudiar y definir los valores umbrales que pueden conducir a la ocurrencia de desastres meteorológicos en el área del embalse;
- mejorar la red de observación meteorológica y construir infraestructuras para el transporte en la localidad;
- reforzar la prevención de la contaminación de las aguas y la realización de actividades de control en la zona del embalse;
- optimizar la programación en el proyecto de las Tres Gargantas y fortalecer la coordinación con los proyectos de conservación de las aguas en el curso alto del río;
- intensificar el desarrollo de técnicas innovadoras de predicción hidrológica que puedan aplicarse a los diferentes períodos de predicción;
- optimizar el plan de resistencia del proyecto frente a la sequía;
- tener en cuenta medidas constructivas de adaptación de la industria; y
- fomentar las actividades de protección ecológica del medio ambiente en la zona del embalse.

Hacia los servicios climáticos

El estudio climático llevado a cabo por la CMA en el área del embalse ha logrado arrojar más luz a la hora de comprender las causas de los episodios extremos observados desde el almacenamiento de agua y ha llegado a la conclusión de que los efectos del proyecto son mínimos y circunscritos a un radio de 10 km. Un análisis posterior de los futuros impactos debidos al cambio climático revela que puede haber en el área del embalse riesgos y/o beneficios. Los servicios climáticos para el proyecto de control del agua en las Tres Gargantas basado en los estudios científicos de la CMA, así como el sistema para gestión de la adaptación, serán desarrollados dentro del marco nacional para los servicios climáticos de China con el propósito de facilitar el proceso de toma de decisiones de manera que se minimicen los riesgos y se maximicen los beneficios.