

LAS TRES GARGANTAS: OTRO GRAN PROYECTO CHINO

THE THREE THROATS ANOTHER NEW CHINESE PROJECT

Recibido: 26/02/07

Aceptado: 12/04/07

José Miguel Marañón Antolín
Dr. Ingeniero Industrial
Revista DYNA

RESUMEN

En mayo de 2006 se inauguraron las obras principales del Proyecto de las Tres Gargantas, la obra más ambiciosa emprendida por China desde que deslumbrara al mundo antiguo con su Gran Muralla. Es inevitable que obras de tal magnitud impliquen consecuencias importantes para el medio ambiente y estas repercusiones están por ver en un futuro difícil de prever dada la lentitud con que la Naturaleza responde a las agresiones de que es objeto por parte del hombre.

Palabras clave: Presa, inundaciones, innovación, construcción antisísmica.

ABSTRACT

In may 2006 the main works of the Three Throats Project were inaugurated being the most ambitious work undertaken by China since it dazzled to the World with the Great Wall. It is unavoidable that works of such magnitude do not imply important consequences for the environment and these repercussions are about to be seen in a future difficult to anticipate given slowness whereupon the Nature responds to the human aggressions.

Key words: Dam, floods, innovation, antiseismic construction..

1.- INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos 13 años se ha venido transformando la orografía

de toda una región, en la provincia de Hubei, para controlar las aguas del río Yangtsé creando un gran embalse con el que se espera evitar las tradicionales y catastróficas inundaciones que suelen asolar a los pueblos ribereños. Además, y no menos importante, se espera que la represa sea una fuente permanente de energía hidroeléctrica para un país que requiere cada día más recursos y materias primas para mantener su acelerado desarrollo económico.

Una obra de tales características como ésta implica consecuencias inevitables para el medio ambiente. El embalse, de 660 km de longitud y una capacidad de 39.300 hm³, fue fuente de fuertes debates entre los expertos por suponer el desplazamiento de más de millón y medio de personas y dejar sumergidos cerca de 1.200 pueblos con un costo esti-



Vista panorámica de la presa

mado en unos 22.000 millones de dólares. Con todo ello, las ventajas (a juicio de muchos especialistas) superarán a las desventajas.

El embalse le ha arrebatado el liderato mundial a su rival brasileño de Itaipú. La obra china contará con 26 generadores de 700 MW con una potencia generadora combinada de hasta 18,2 millones de kW y producirá 84.700 millones de kWh anuales de energía hidroeléctrica.

2.- EL PROYECTO

El 20 de mayo de 2006 se hizo la última carga de hormigón en el campo de obras de la presa que se concluyó con cerca de diez meses de adelanto, lo que se traduce en una elevación de su nivel tecnológico y administrativo.

En el futuro se continuarán las obras de la central subterránea, de la compuerta y los elevadores para los barcos, así como los trabajos relacionados con la limpieza de fondos y la prevención contra catástrofes naturales, de modo que se garantice en 2007 un nivel de 156 m de agua después de la temporada de crecidas.

La obra consiste en una enorme presa de hormigón, compuerta de esclusas, una central hidroeléctrica, una

compuerta de navegación y un elevador de barcos. El complejo, formado por la presa, la central y las construcciones para navegación, será la obra clave en el río Yangtsé esperándose derive en notables beneficios económicos y sociales, mayores niveles de generación eléctrica, navegación y regulador de inundaciones.

La duración total del proyecto será de 17 años, con un presupuesto de 203.900 millones de yuanes (aprox. 24.655 millones de dólares ó 18.263 millones de euros). Antes de construir la represa, los primeros cinco años (1993-1997) sirvieron de preparación y primera etapa de la obra. Los siguientes seis años (1997-2003) se dedicaron a la segunda etapa, durante los cuales el agua almacenada llegó a los 135 m, se puso en marcha el funcionamiento de la compuerta y la puesta en marcha de los primeros equipos eléctricos. La obra se terminará en los últimos seis años (2003-2009).

2.1.- No más inundaciones

El mayor río del país, el Yangtsé o Río Azul, tiene 6.380 km de longitud (el Nilo, con 6.756 km, está considerado como el más largo del mundo)

supera los 3.600 afluentes, que atraviesan 18 provincias beneficiando a más de 400 millones de habitantes, que superan la tercera parte de la población nacional.

Pero, a la vez que cuna de la civilización china, el Yangtsé ha ocasionado grandes desastres. Durante los 2.100 años transcurridos desde principios de la dinastía *Han* hasta finales de la *Oing*, se produjo una inundación cada diez años. Sólo las dos grandes ocurridas en los años 30 del siglo XX costaron cerca de 300.000 vidas.

Ya a principio del siglo pasado, **Sun Yat-Sen**, fundador de la República de China, propuso la construcción de la presa de las Tres Gargantas, pero no fue hasta la V Sesión de la *VII Asamblea Popular Nacional (ANP)* de 1992 cuando se aprobó *La resolución sobre la obra de las Tres Gargantas en el Yangtsé*.

Según expertos de la Comisión de las obras hidráulicas de Las Tres Gargantas, con la construcción de la obra el nivel de agua normal alcanzará los 175 m. El embalse tiene capacidad para 39.300 hm³. Se puede reducir la cota de la crecida y canalizar el torrente de la cuenca superior en un área de un millón de km² hacia los cursos medios e inferiores. Cuando el torrente alcance un caudal de 87.100 m³/s en el tramo Jingjiang del curso superior del Yangtsé, el embalse podrá reducirla hasta 56.700 m³/s, lo que significa que la inundación se controlará por el tramo Jingjiang.

El embalse de las Tres Gargantas no es el mayor del mundo (sólo ocupa el lugar 25 en cuanto a capacidad), pero, si se considera su capacidad de regulación de crecidas (de 27.000 a 33.000 m³/s), será el primero del mundo.

En el complejo hay un sistema de control de información, capaz de recibir en diez minutos todas las informaciones obtenidas por los 118 puntos de observación y medición distribuidos en 56.000 km² a lo largo de Las Tres Gargantas. Este sistema sirve de protección contra las inundaciones controlando el curso entre las ciudades de Chongqing y Chiang.



La ciudad de Chongqing



Foto de satélite del embalse

2.2.- Navegación fluvial

Históricamente, el Yangtsé ha sido la arteria de comunicación entre las zonas costeras del sudeste y el sudoeste del país, pues es un sistema de navegación fluvial completo. Antes de la construcción de la presa, la ruta fluvial de 660 km desde Yichang a Chongqing aún presentaba condiciones naturales complicadas, pues había 139 escollos y 27 tramos que no permitían la navegación nocturna o sólo se podían atravesar de noche con un límite de 1.500 toneladas.

Con la aplicación de la estrategia de explotación del Oeste, la región sudoeste tiene gran demanda de intercambio y la demanda de navegación rebasa la oferta. La obra de las Tres Gargantas, junto con la obra de Gezhouba, pueden mejorar la navegación; con la construcción de la obra, la profundidad promedio de agua alcanzará 70 m y en algunos puntos llegará a 170; la anchura media será de 1.100 m, doble que el anterior.

Durante más de la mitad del tramo, la ruta fluvial será navegable en aguas profundas, garantizando el paso a los barcos de 10.000 toneladas de Wuhan a Chongqing, y aumentando la capacidad anterior de 10 millones de toneladas a 50 millones. Al mismo tiempo, al mejorar las condiciones de navegación, el costo de navegación disminuirá entre el 35 y 37% y los gastos en mantenimiento y canalización de la ruta serán reducidos en mayor medida.

La obra favorecerá la navegación de los afluentes del curso superior del río y, con la subida del nivel del agua, los tramos navegables de los ríos medianos y pequeños, como el Daning y el Xiangxi, aumentarán en 550 km.

Con la subida de agua dentro de la presa, en 2005 el volumen de mercancías transportadas llegó a 44 millones de toneladas, con un incremento de unos 10 millones con respecto a tiempos anteriores. Por eso, se considera que esta obra es la que mayor cantidad de beneficios aporta a la navegación a escala mundial.

2.3 La mayor central hidroeléctrica del mundo

Con una potencia de 378 millones de kW, China es uno de los países más ricos en recursos hidráulicos. Sin embargo, en los últimos diez años, es cada vez más bajo el porcentaje de generación hidroeléctrica, que se sitúa en el 14%, muy inferior al nivel promedio mundial del 22%. No obstante, se espera que la situación mejore tras la construcción del complejo.

La capacidad instalada total de la obra es de 18.200 MW. Se planea que generen anualmente 84.700 millones de kWh, lo que iguala las 10

grandes centrales termoeléctricas instaladas de dos millones de kilovatios cada una. En su momento, la central hidroeléctrica de las Tres Gargantas será la mayor tanto por la capacidad instalada como por la generación eléctrica.

En 2003, se pusieron en servicio los primeros seis equipos de generadores de la central de la ribera izquierda. En septiembre de 2005, entraron en funcionamiento los 14 grupos de dicha ribera. Hasta el 20 de mayo de 2006, éstos generaron 110.800 millones de kWh. En 2007 y 2008 funcionarán seis equipos en la central de la margen derecha, respectivamente, que dispondrá en su central subterránea de tres equipos en 2010 y 2011, cada una. A este ritmo, los 32 grupos de la central funcionarán antes de 2011. Cuando estén completos los equipos de las dos centrales de la margen derecha, generarán anualmente 24.000 millones de kWh.

En los próximos 20 años, China desarrollará 10 grandes centrales con potencia instalada de tres millones de kW cada una en la cuenca de los tres ríos paralelos (el Nujiang, el Lancang y el Jinssha, en el curso superior del Yangtsé).

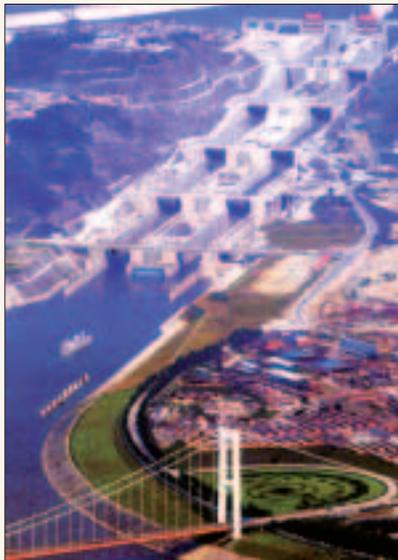
La obra fue diseñada, como se ha dicho anteriormente, para generar 84.700 millones de kWh al año con un precio de la energía determinado por el Consejo de Estado en 0,25 yuanes /kW. De esta manera, el ingreso anual por energía sobrepasará los 20.000 millones de yuanes. Cuando la generación llegue a 10¹² kWh, podrá ser amortizada la inversión de 200.000 millones de yuanes. Se estima que este momento llegará entre 2015 y 2017.

Las mayores centrales hidroeléctricas del mundo						
Nombre	País	Río	Año de construcción	Capacidad de almacenamiento (x 10 ⁶ m ³)	Capacidad de descarga de crecidas (m ³ /s)	Potencia instalada (x 10 ⁴ kW)
Krasnoyarsk	Unión Soviética	Yenisey	1967	733	12.000	600
Central hidroeléctrica de Gurí	Venezuela	Caroni	1986	1.380	30.000	1.030
Central hidroeléctrica de Itaipú	Brasil-Paraguay	Paraná	1983	290	62.000	1.260
Proyecto de Asuán	Egipto	Nilo	1971	1.650	36.000	210
Tres Gargantas	China	Yangtsé	En construcción	393	100.000	1.820

3.- SOLUCIÓN DE PROBLEMAS MEDIANTE INNOVACIÓN CIENTÍFICA

Desde sus inicios, la obra de las Tres Gargantas logró considerables resultados, incluyendo 14 Premios de progreso científico y tecnológico de nivel estatal y 200 de nivel provincial y ministerial, 700 patentes, 100 normas

técnicas para la calidad en Ingeniería y 100 récords mundiales.



Vista panorámica de la compuerta

3.1.- Una gran presa homogénea

Después de vaciada la presa, no se detectó grieta alguna en la estructura de más de 4.000.000 m³ de hormigón.

El Proyecto ha utilizado en total 28 millones de m³ de hormigón de alta resistencia cuyo vaciado, de alto coste, resulta muy raro en las obras hidráulicas mundiales.

En la construcción de la presa de la margen izquierda, realizada en 2002, se descubrieron 79 grietas de capa superficial con 0,1 a 0,3 mm de anchura y menos de 3 m de profundidad. El ingeniero jefe de la Corporación General de la Obra de las Tres Gargantas, considera que el interior del hormigón sufre una alta diferencia de temperatura con respecto al entorno exterior, por lo que en la capa superficial aparecen grietas al superar la fuerza de tensión. Esta diferencia se conoce como “enfermedad crónica y rebelde” de la construcción de hormigón. Para resolver el problema, la Corporación ha invitado en varias ocasiones a prestigiosos expertos al lugar de la obra. Tras numerosas pruebas, se decidió un tratamiento de cinco acciones: sanear bien la boca de la grieta, inyectar materiales impermeables efectivos, pegar una capa de goma, aplicar una capa de mortero

de hormigón y aportar un material de hormigón de fibra sobre la pared.

Gracias a estos esfuerzos, la presa fue aceptada finalmente por el Estado. Pero evitar grietas en la presa de la orilla derecha de las Tres Gargantas constituyó un nuevo reto.

Se invirtieron millones de yuanes en los estudios del porcentaje que en la mezcla de hormigón debía dedicarse a los áridos artificiales de granitos y al polvo de carbón de primera clase. En consecuencia, se mejoró el aditivo exterior de alta propiedad haciendo que las características integrales del hormigón llegaran al valor óptimo.

El control de la temperatura y la evitación de hendiduras de gran dimensión en el hormigón es otro tema difícil en Construcción. Los constructores aplicaron la tecnología del enfriamiento aéreo de los áridos: en pleno verano, se refrigeró todo el hormigón producido hasta 7 °C, cuidando la temperatura de cada parte y logrando controlar al máximo el hormigón. Se utilizaron placas de poliestireno, ideales para conservar la temperatura de la superficie de la presa. Por otro lado, el sistema de alarma de “tiempo, temperatura y período de intervalo” ayudó a garantizar la calidad del control de temperatura a lo largo de todo el proceso.

Tras una serie de innovaciones y ensayos, la presa de la margen derecha se terminó sin grietas.

3.2.- Solución de la sedimentación de cieno y arena

Después de embalsar el agua, los expertos se preocuparon por la sedimentación de cieno y arena. El embalse Sanmenxia en el río Amarillo, construido en 1960, se convirtió finalmente en banco de cieno por la fuerte acumulación de barro y arena. La presa de Las Tres Gargantas, por su parte, se construye en el curso principal del Yangtsé, donde la cantidad de arena transportada anualmente ocupa el cuarto lugar del mundo, razón por la que muchos se preguntaban cómo evitar correr la misma suerte.

Según los expertos, debido a que la presa se concibe para controlar riadas, (en la temporada de crecidas tiene que asegurar el nivel del agua acumulada a 145 m), por lo tanto, cuando retiene las cotas de crecidas, el embalse puede recibir cierta cantidad de cieno y arena. Además, el promedio de evacuación de la arena en tres años es de 60%, es decir, el 40% de la arena se quedará en la zona del embalse.

Para resolver este dilema, los expertos desarrollaron un método efectivo tras largos ensayos: se construyeron 23 orificios profundos de descarga de crecidas en la presa, ubicados a 90 m de altura. En la temporada de crecidas, cuando la cantidad de arena transportada en la zona del



Barco atravesando la compuerta

embalse llega al 84% del total anual, se abren estos orificios para que la corriente de agua arrastre la mayor parte del barro y arena (50.000 m³/s), lo que se denomina “*evacuación de aguas turbias*”, mientras en el estiaje, cuando el contenido de arena en el agua disminuye de forma ostensible, se obturan los orificios para acumular aguas limpias. El embalse es el típico de vía fluvial, caracterizado por una alta pendiente del fondo, gracias a lo cual los granos finos de arena pueden ser fácilmente arrastrados por la corriente.

Los datos de observación y medición indican que, entre junio y diciembre de 2003, la cantidad de arena que entró en el embalse llegó a 208 millones de toneladas y la del mismo período de 2004 fue de 166. De acuerdo con el plan de utilización integral de la cuenca, en decenios venideros se construirán gran número de grandes embalses en los cursos principales y tributarios del río.

Tales obras contribuirán a reducir eficazmente la entrada de arena al embalse. Los resultados de medición de las aguas depositadas en dos años y de ensayos científicos correspondientes evidencian que, después de 100 años de funcionamiento, la capacidad de almacenamiento del mismo embalse para el control de inundaciones se mantendrá en el 86%.

3.3.- Contra terremotos

En la historia de la construcción de grandes embalses han sido comunes los terremotos ocasionados por las propias obras por lo que la seguridad de la presa constituye un problema público. En la actualidad, los expertos han llegado a la conclusión de que, aunque es imposible evitar los temblores ocasionados por el almacenamiento de agua, sus consecuencias distarán de ser catastróficas.

La Administración de Sismología de Chongqing, lleva ya 40 años observando y midiendo terremotos en la obra hidráulica de las Tres Gargantas, algo inusual en la historia de la construcción de centrales de generación hidroeléctrica.

Desde los primeros datos obtenidos en 1959, hasta hoy se han locali-



Vista nocturna

zando 2.910 terremotos de un grado en la escala de **Richter** en la zona de las Tres Gargantas y sus cercanías, y pocos seísmos superiores a lo dos grados lejos de la zona. Ello implica que la presa no será dañada por temblores.

Los sismólogos han clasificado y analizado 100 casos sísmicos provocados por embalses en el mundo, han estudiado la estructura geológica, la característica de las rocas y las condiciones de infiltración de la zona del embalse y han observado con gran cuidado las fallas de fractura ubicadas alrededor de la presa.

En general, las presas capaces de resistir fuertes sacudidas del terreno del seísmo máximo posible, tendrán también un comportamiento satisfactorio bajo otros tipos de cargas. En el caso de daños sísmicos importantes, debe ser posible hacer descender el nivel del embalse.

Los expertos señalan que la presa se asienta en un complejo de granito estable, sin fracturas. Además, el local tectónico más cercano al embalse está a 39 km de distancia, por lo que el nivel de destrozo real no pasará de 6 grados, teniendo en consideración que el diseño de la obra se desarrolló según una defensa contra 7 grados. Al mismo tiempo, el embalse se sitúa en un valle que no sufre notables cambios por la estructura de la corteza terrestre.

Además de establecer el sistema de pronóstico sísmico moderno para la obra, el Estado invirtió una gran suma para pronosticar terremotos en la zona del embalse. El sistema de la Red de telemedición digital, que entró en funcionamiento en 2003, está compuesta por 26 estaciones sísmológicas, incluidas la red de estaciones sísmológicas de telemedición digital, la red de control de deformación cor-

ALGUNOS RÉCORDS DE LA OBRA

Mayor central hidroeléctrica: La capacidad instalada es de 18,2 millones de kW generando 84.700 millones de kWh de electricidad anuales como media.

Mejor efecto de regulación de crecidas: La capacidad de embalse es de 39.300 hm³. Puede descargar las crecidas a razón de 27.000 a 33.000 m³/s. con posibilidades máximas de 102.500 m³/s.

Mayor longitud: Toda la represa mide 2.309 m de largo y comprende 32 grupos generadores.

Mayor obra hidráulica; El volumen de las tierras y piedras excavadas por la estructura principal de la represa totaliza 134 millones de m³ y se han vertido 28 millones de metros cúbicos de hormigón.

Mayor emigración del embalse: La emigración de toda la obra será al final de 1.300.000 personas. Al haber más de 30 países cuya población no alcanza el millón de habitantes, puede afirmarse que este éxodo equivale a desplazar todo un país.

tical y la red de observación de agua subterránea.

3.4 Problema ambiental

Antes del comienzo de la obra, muchos extranjeros y chinos manifestaron sus preocupaciones relativas al impacto ambiental de la obra.

Después del almacenamiento de agua, debido a la disminución de la velocidad de la corriente acuática y al debilitamiento de la capacidad de dilución y autopurificación, la sustancia flotante se incrementa y la presión del ambiente hídrico del embalse se elevará en gran medida. “Una vez que el embalse funcione, se producirán efectos desfavorables al entorno ecológico”, manifestaron los expertos.

A partir del comienzo de la construcción, la obra de Las Tres Gargantas definió su principio de “prestar igual atención al medio ambiente y la construcción”, esforzándose por convertir la colosal obra en un proyecto benigno a la ecología. Para ello, la Corporación General de la Obra de Las Tres Gargantas instituyó especialmente el Departamento de protección científica medioambiental. Durante la construcción, se llevó a cabo un riguroso control del ecosistema del embalse y las aguas residuales para la producción de hormigón tuvieron que someterse primero al tratamiento de purificación y descargarse después que cumplieran las normas. Más de la mitad de esas aguas volvieron a reciclarse. Durante la obra, se requirió que el cemento, la piedra y la arena se transportaran de manera cerrada y se recuperara a tiempo la vegetación del lugar de construcción. Hoy en día, en este lugar de 15,28 km², no se aprecia ninguna tierra descubierta.

Conforme al programa, entre 2001 y 2010, el Gobierno chino invertirá 40.000 millones de yuanes (4.836 millones de dólares) en el saneamiento de la contaminación hídrica en el curso superior del embalse para lo cual se construirán por etapas 150 instalaciones de tratamiento de aguas usadas y 170 instalaciones de tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU) cuya tasa superará el 85%. En esos diez años, dichas instalaciones

pondrán fin a la historia de descarga directa de aguas sucias al Yangtsé. Durante el *X Plan Quinquenal* (2001-2005), Hubei completó 83 proyectos pertinentes para la zona del embalse y la zona afectada ubicadas en su provincia, tales como los tratamientos de aguas residuales de vida en ciudades y poblados, fuente de contaminación grave, de los tributarios y de eliminación de residuos sólidos en el fondo del embalse, con una inversión de 2.349 millones de yuanes (284 millones de dólares). A fines de octubre de 2005, se concluyeron 71 rubros de 55 proyectos. De ellos, 65 entraron en servicio. Las instalaciones construidas en capitales de distrito tienen capacidad para tratar diariamente 340.000 toneladas de aguas sucias.

En comparación con la generación térmica de electricidad, 26 grupos de generadores hidroeléctricos reducirán al año la carga de 10 millones de toneladas de CO₂, dos millones de toneladas de SO₂ (generador

la Corporación General de la Obra invitó a varios académicos de Ingeniería a efectuar investigaciones sobre la prevención y tratamiento de la contaminación hídrica del embalse y las sustancias flotantes y, junto con el **Ministerio de Agricultura**, desarrolló el proyecto de soltar en sus aguas al esturión nacional procreado artificialmente en el Yangtsé, lo que significa el comienzo del proyecto de protección de peces raros en el curso superior de este río. El futuro trabajo ecológico de Las Tres Gargantas consiste en perfeccionar gradualmente el sistema de administración ambiental, promocionar la promoción de la ejecución reglamentada de la protección de peces raros y sus medidas complementarias, plantear la plataforma de estudios ecológico y ambiental y del sistema general de políticas de apoyo, incluyendo los bancos de datos de los expertos en ecosistema e informaciones y las estaciones de observación de peces preciosos y raros financiadas por la ONU.

La Administración General Estatal de Protección Medioambiental decidió, en asociación con el **Ministerio de Hacienda** y el de **Obras Públicas**, los gobiernos de Hubei, Chongqing, Sicuani, Yunnan y Guizhou y la Corporación General de la Obra, establecer el sistema de Conferencia conjunta ministerial para la prevención y el tratamiento de la contaminación hídrica en el embalse y el curso superior del Yangtsé con el fin de discutir el problema correspondiente.

4.- BIBLIOGRAFÍA

- BLÁZQUEZ, F. *Aspectos sísmicos de las presas*. Revista de O.P. nº 3.441. feb 2004 p.p. 41-58.
- LÓPEZ - CHALEZQUER, Alfredo. *Aprovechamiento de los ríos*. Revista DYNA, Vol. 80, nº 9. Enero-febreeo 2005. p.p. 38-40.
- RUCAI, L. *Proyecto asombro de la Humanidad*. China, Vol. nº 8. Ag. 2006. p.p. 10-14.
- YUANJUN, Luo. *El reciclaje, una lección de la Naturaleza*. Revista DYNA. vol.81. nº 7. Octubre 2006. p.p. 24-25.
- *El Nilo tiene 107 km más de lo que se pensaba*. Revista DYNA, Vol. LXXXI, nº 8. Nov. 2006, pág. 85. ■

PRESA	ALTURA (m)	SITUACIÓN
Rogun	335	Tajikistán
Nurek	300	Tajikistán
Xiaowan	300	China
Grande Dixence	285	Suiza
Inguri	272	Suiza
Boruca	267	Costa Rica
Chicoasen	261	México
Tehri	261	India
Kambaratinsk	255	Kyrgyzstan
Kishau	253	India
Sayano Shushensk	245	Rusia
Guayío	243	Colombia
Mica	242	Canadá
Ertan	240	China
Mauyoisin	237	Suiza
Chivor	237	Colombia
El Cajón	234	Honduras
Chirkey	233	Rusia
Oriville	230	EE.UU
Bekhme	230	Irak

de lluvia ácida), 10.000 t de CO y 3.870.000 t de NO_x. También se podrán reducir de forma muy significativa las aguas residuales y el polvo flotante.

En 2005, el Departamento de protección científica medioambiental de