

Impacto de la ampliación del Canal de Panamá -- tercer juego de esclusas-- en la calidad y cantidad de agua de los lagos Gatún y Miraflores

Ariel R. Rodríguez Vargas
Universidad de Panamá
Apdo. 0824, Ciudad de Panamá,
República de Panamá
Correo: arielrod@ancon.up.ac.pa
Telefax: 223- 0212

RESUMEN

La propuesta de ampliación del Canal de Panamá que el Presidente de la República de Panamá, Martín Torrijos, presentó al país el 24 de abril de 2006 tiene más interrogantes que respuestas, máxime cuando dicha propuesta debe ser un documento con la información completa para una toma de decisión fundamentada e informada en todos sus aspectos. Desde que la información clasificada, fue parcialmente develada y publicada en internet, hemos investigado parte de la propuesta en sí, especialmente el tema ambiental y de costos ambientales, además hemos evaluado el Plan Maestro 2000-2025 del Canal de Panamá, que es el documento que recopila las investigaciones realizadas. Esta revisión comparativa nos permitió percatarnos que había diferencias significativas entre los resultados presentados en los estudios o investigaciones fuentes, el plan maestro y la propuesta de ampliación del Canal de Panamá. Los estudios ambientales, lejos de sustentar viabilidad ambiental como indica la propuesta, lo único que sugieren hasta el momento es la realización de más estudios para comprender los impactos ambientales y por tanto sus medidas de manejo ambiental y mitigación, ahora enfocando específicamente en el escenario final del proyecto escogido. Con la información liberada, todavía no se cuenta con información suficiente y sólo pueden considerarse estudios preliminares de factibilidad. De todos los impactos ambientales, uno de los más críticos es el probable aumento de la salinidad en los Lagos Miraflores y Gatún en los cauces de acceso y tránsito del canal, ya que un aumento que supere los límites críticos permisibles (0.45 a 0.50 ppm¹[1]) en el contenido de sales, puede provocar que dicho cuerpo de agua pierda la calidad óptima para la potabilización. Además provocaría o aumentaría significativamente los riesgos del paso de especies de un océano a otro, especialmente de especies invasoras que afectarían al ecosistema de arrecifes del Caribe panameño y regional. Si estos impactos ambientales no son analizados profundamente con la comunidad científica nacional e incluso internacional, y la sociedad panameña, de manera completa y transparente, nos reservamos el derecho a indicar que este proyecto es de alto riesgo ambiental, sumado a otros impactos ambientales, quizás de medidas de mitigación conocidas, pero que igualmente serían de alto costo, que no están incluidos en la propuesta aprobada. La mejor prueba que no se cuenta con la información necesaria para declarar la viabilidad ambiental del proyecto es la ausencia de un Estudio de Impacto Ambiental, que era lo mínimo que esperábamos los científicos y ciudadanos de los aspectos ambientales relacionados a la propuesta presentada al país. Este artículo recoge elementos de juicio de la información con que contamos en este momento, que nos indican la aplicación del principio precautorio ante una propuesta incompleta y con datos sesgados y no sustentados para hacer ver una viabilidad ambiental del proyecto que hasta el momento no ha sido demostrada, especialmente en el aspecto de la afectación de la calidad y la cantidad de agua del Canal de Panamá, que es un impacto crítico.

[1] ppm= partes por millar= ppt (inglés) = mg/L (sistema métrico decimal).
[1] (U.S. Army Corps of Engineers, 2000).

INTRODUCCIÓN

El Canal de Panamá está localizado en el área central del Istmo de Panamá, es una vía acuática hecha por el hombre que conecta el Mar Caribe de Panamá con el Océano Pacífico para propósitos de la navegación internacional. Este comenzó a operar el 15 de agosto de 1914. Para el año 2000 un promedio de 38 barcos atravesaban cada día esta vía. Esta travesía entre un océano y otro se realiza por dos lagos de agua dulce: el Gatún y Miraflores.

Tiene una longitud de 80 kilómetros y conecta el Océano Atlántico (Sector denominado Mar Caribe), ubicado al norte, con el Océano Pacífico al sur a la altura de la Bahía de Panamá. Esta ruta canalera comprende dos cuerpos de agua, el Lago Gatún y el Lago Miraflores. El nivel de Lago Gatún es de 26 metros (85 pies) y el de Miraflores es de 16.5 metros (54 pies) sobre el nivel del mar. Durante la estación lluviosa el Lago Gatún alcanza niveles de hasta 26.7 metros (87.5 pies) (U.S. Army Corps of Engineers, 2000).

Tanto el Lago Gatún como Miraflores son lagos de agua dulce. El Lago Gatún tiene un volumen almacenado estimado de 5.2 mil millones de metros cúbicos de agua (183 mil millones de pies cúbicos) en la estación seca y para la estación lluviosa se estima que el almacenamiento de agua alcanza 5.56 mil millones de metros cúbicos (196 mil millones de pies cúbicos). Este tiene una superficie de 435 kilómetros cuadrados. Este lago se formó por el represamiento del Río Chagres, 10 kilómetros antes de su desembocadura en el Mar Caribe. Esta represa tiene una longitud de 2.4 kilómetros y 0.8 km de ancho y una cresta de 30.44 metros, que está localizada a 32 metros sobre el nivel del mar y a 6 metros sobre el nivel del espejo de agua normal del Lago Gatún (U.S. Army Corps of Engineers, 2000).

El lago Miraflores es cien veces más pequeño que el Lago Gatún. Tiene una superficie de 3.94 kilómetros cuadrados y una elevación de 16.5 msnm. En la estación lluviosa alcanza un nivel de 17 metros y 16 metros en la estación seca. La capacidad de almacenamiento de este lago se estima entre 2.5 millones de metros cúbicos de agua (88 millones de pies cúbicos) en la estación seca y 19 millones de metros cúbicos (670 millones de pies cúbicos) en la estación lluviosa (U.S. Army Corps of Engineers, 2000).

Este sistema de lagos del Canal de Panamá incluye el Lago de Alajuela, ubicado en la cuenca media del Río Chagres, que sirve como reservorio y control de las aguas del Río Chagres. Además esta fuente de agua represada es la principal proveedora del agua para consumo humano de todo el sector oriental de la ciudad de Panamá y gran parte del área metropolitana.

El agua dulce de estos lagos es utilizada para llenar las esclusas que suben o bajan los barcos a los diversos espejos de agua de navegación requeridos en esta ruta. Se estima en cerca de 0.20 millones de metros cúbicos de agua (52 millones de galones) por cada operación de esclusaje (U.S. Army Corps of Engineers, 2000). El agua dulce de estos lagos también se utiliza para proveer de agua a la población de la región interoceánica, incluyendo Chorrera, Arraiján, Colón, las afueras de Colón, la ciudad de Panamá, las áreas revertidas, etc. Para el año 2000 se estimaba que para consumo humano se requería de las aguas del Canal de Panamá un total de 0.18 millones de metros cúbicos (47 millones de galones) por día. Para los años de escasas lluvias el Canal de Panamá experimenta déficit de agua para las operaciones habituales de navegación.

Desde finales de la década de 1990, la entonces Comisión del Canal de Panamá estaba considerando la expansión de la capacidad de tránsitos existentes en el canal, pero estaban conscientes que este evento incrementaría el nivel de consumo de agua dulce y el aumento de la intromisión de sal desde los océanos (U.S. Army Corps of Engineers, 2000). Dicha Comisión necesitó desde esa fecha un estimado de los efectos adversos potenciales y lineamientos tempranos de medidas de mitigación para estos impactos.

Para el 2002, ya la Autoridad del Canal de Panamá contaba con los primeros estudios que le indicaban la magnitud del problema de la intromisión de agua salada a los lagos de agua dulce de Canal de Panamá y las probables medidas de manejo ambiental para controlar dicho problema (Wpsi Inc. 2002).

Para el 2003 se iniciaron los estudios para el análisis de la intromisión salina para el proyecto que se debate en este momento: la ampliación del Canal de Panamá, a través de la construcción del tercer juego de esclusas.

OBJETIVO

Este escrito intenta demostrar que no existe evidencia científica suficiente con la información aportada por la ACP que nos demuestre que el proyecto de ampliación del Canal de Panamá, a través de la construcción de un tercer juego de esclusas, no afectará significativamente la cantidad y la calidad del agua, especialmente el impacto de la intromisión salina en el sistema de agua dulce del Canal de Panamá, producto de la operación de las nuevas esclusas propuestas.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se parte de un hecho básico: en todos los sistemas de esclusas que separan cuerpos de agua con niveles de salinidad distinta ocurren intercambios de aguas, especialmente si son áreas intermareales (Kertsma, et al. 1994).

Importancia de la conservación de la calidad del agua dulce

En estos momentos, nadie pone en duda la necesidad imprescindible de mantener la calidad del agua como una principal prerrogativa para el bienestar humano y el ambiente; de allí que requiera de una estricta supervisión y cuidado (Kertsma, et al. 1994). Muchas actividades claves dependen del agua para diversos usos: consumo, uso industrial, actividades agrícolas, recreación, mantenimiento ecológico, uso para la pesca, la navegación, la creación de reservorios para manejo de cuencas; además que sirve funcionalmente para el transporte intencionado y no intencionado en actividades humanas o en eventos naturales. Por todo lo anterior, es fundamental y prioritario prevenir la salinización de las aguas dulces por las graves consecuencias que esto representa.

Salinidad en el Canal de Panamá con el sistema actual de esclusas

Hasta el año 2000 existían muy pobres datos disponibles sobre el problema de la intromisión de agua salada en las aguas dulces del Canal de Panamá. Datos históricos de salinidad no están disponibles, probablemente porque en los últimos años no se había detectado este fenómeno de incremento de la salinidad, ni había amenazado bajo condiciones normales las operaciones del canal. Justamente las investigaciones del U. S. Army Corps of Engineers (2002) es la investigación que comienza a develar la magnitud del problema.

Estudios científicos sobre biología a lo largo del siglo XX, entre estos, estudios de perfiles de temperatura y salinidad en las esclusas del Canal de Panamá, realizados en 1972 por Jones y Dawson (1973) nos revelaron que para esa fecha, los niveles de salinidad en las aguas de los lagos Gatún, Miraflores e incluso la esclusa superior de Gatún presentaron valores indetectables de salinidad, concluyendo que las aguas del Canal de Panamá seguían siendo una barrera natural de agua dulce entre los organismos marinos estenohalinos de un océano y el otro y evitando con ello, el paso de especies peligrosas, especialmente especies del Pacífico que pudieran afectar significativamente la biota del arrecife de coral del Mar Caribe. Menzies (1968) también indicó niveles mínimos de salinidad en las aguas del canal.

Actualmente la instrumentación y métodos indirectos basados en conductividad y temperatura del agua han sido muy eficaces para determinar con precisión los niveles de salinidad. Por ello hoy sabemos con certeza que el Lago Gatún alcanza niveles de salinidad que van desde 0.04 hasta 0.07 ppm de salinidad (UNIPAN, 2004); situación que preocupa, dado que estos niveles, si bien es cierto, todavía están lejos de

causar daños ambientales, nos corroboran que existe una fuente salina que está contaminando el lago, que todo apunta a que efectivamente se trata de la intromisión salina a través de las esclusas actuales. Curiosamente la ACP en su Plan Maestro de 2006 reconoce niveles inferiores de salinidad para el lago Gatún con valores máximos de cloruros de 18 mg/l, equivalentes a 0.032 ppm y al lago Miraflores lo declaran oficialmente un lago de agua salobre debido a que registra valores de 1,000 mg/l de cloruros, equivalentes a 1.8 partes por millar de salinidad. Nuestros datos sobre la salinidad del Lago Miraflores nos indican valores que van desde 1.4 a 2.2 ppm dependiendo del nivel de agua de este lago.

Los hallazgos realizados por el U. S. Army Corps Engineers (2002) indican que existe un flujo salino que lo provocan las actuales esclusas del Canal de Panamá, las cuales tienen coeficientes de transferencia de salinidad similares, pero se hace evidente que del lado Pacífico la intromisión salina es más intensa, pero ello se debe que las esclusas de Miraflores sólo están compuestas de dos escalones, mientras que las esclusas de Gatún tienen tres escalones o niveles.

Estos hallazgos indican que el fenómeno de intromisión salina es un hecho, incluso en esclusas que no fueron diseñadas para este fenómeno se diera, contrario sensu, las esclusas Post-Panamax propuestas, por su diseño de tinajas de reutilización de agua, todos los estudios indican que intromisión salina hacia las aguas dulces del Canal de Panamá, de no ser controlada, se daría desde el primer momento de su operación.

Entonces, dado la intromisión salina existente, más la intromisión salina esperada, es de suponer que el control de la salinización es un problema complejo, de difícil solución y de costos de construcción y operación, como lo reflejan los estudios que analizamos a lo largo de este escrito.

Lo preocupante de este impacto ambiental crítico es que la ACP, por efecto de no aumentar los costos probables de la obra previo al referéndum, no ha debatido, ni ha dicho con claridad las medidas a tomar y los costos totales que ello implicaría. Esta falta de transparencia y manipuleo de datos nos hace temer que el discurso ambiental de la ACP está estrictamente supeditado a un flaco presupuesto de inversión y operación y no en función de las necesidades reales en inversión ambiental. El mejor ejemplo de ellos, lo tenemos con las actuales esclusas, que han dañado y contaminado seriamente al Lago Miraflores, y a pesar, que la ACP está consciente de este problema desde finales de la década de 1990, poco o nada a hecho para remediar este asunto. Todo lo contrario, en el Plan Maestro y las declaraciones públicas que han realizado hacen ver como natural, que el Lago Miraflores, sea un cuerpo de agua salobre. Al declararlo como salobre, están evitando invertir en medidas de mitigación de intromisión salina en las esclusas existentes.

Salinidad con el sistema de esclusas post-panamax propuestas

Se entiende que si las esclusas propuestas fueran semejantes a las actuales esclusas de Gatún, o sea, sin tinajas de reutilización de agua y con tres niveles, el peligro de la salinización se pudiera solucionar con medidas mitigatorias sencillas, dado que el ingreso de agua salada sería mínimo. El hecho es que las tinajas de reutilización serán un gran reservorio para la acumulación de agua salada, que junto con la intromisión propia esperada a lo largo de las cámaras, acrecentarían este problema.

Por tanto, se espera intromisión salina desde el primer momento del funcionamiento de estas esclusas y así continuarían en el tiempo, provocando que el lago Gatún como cuerpo de agua dulce receptor se contamine y por la hidrodinámica y la difusión física de las sales, éstas se extiendan de manera peligrosa por todo el lago, como justamente ya ha ocurrido en el Lago Miraflores.

También se ha determinado que los niveles de salinidad de los lagos del canal dependen además del tamaño del cuerpo de agua, de la temporada del año, del aumento de frecuencia de tráficos y por supuesto de la ausencia de medidas de mitigación que eviten la entrada de la lengua de agua marina, que usualmente se desliza como un cuerpo más denso, por debajo del agua dulce y en el fondo de las esclusas, hasta que finalmente alcanza las aguas de los lagos y lentamente se difunde en todo el cuerpo de agua, dependiendo de la hidrodinámica y las corrientes.

Estudios de salinidad realizados por WL | Delft Hydraulics

Los primeros cuatro estudios (informes A, B, C, D) realizados por WL | Delft Hydraulics no son útiles para el análisis de la intromisión salina en la configuración que plantea la ACP como proyecto del tercer juego de esclusas. Sin embargo, el informe "E" nos advierte que el tema de la posible intromisión salina causado por la operación de las esclusas actuales y las post-Panamax es una preocupación ambiental muy importante y que juega un serio papel en la evaluación de las esclusas Post-Panamax propuestas. La evaluación requiere comprensión detallada de la intromisión salina a través de la operación de las esclusas y el uso de las tinajas de reutilización de agua. WL | Delft Hydraulics indicaba en abril de 2004 que eran necesarias nuevas herramientas para llevar a cabo el análisis de los procesos físicos y operacionales involucrados.

Lo importante de estos estudios es que permitieron descartar escenarios planteados, tales como el reciclaje de agua. Sólo dos escenarios, pueden ser considerados del informe "E", donde efectivamente nos indican que los niveles de salinidad esperados para el Lago Gatún alcanzarían valores que superarían los niveles máximos permisibles (mayor a 0.5 ppm). Para el caso del Lago Miraflores, los niveles alcanzarían valores superiores a 2.0 ppm. Este informe también concluyó con las siguientes aseveraciones: 1-) la mitigación de la intromisión salina es un asunto delicado; 2-) los resultados de las medidas dependen fuertemente de una operación cuidadosa de las esclusas; 3-) las condiciones hidráulicas prevalecientes; 4-) las intensidades de tráfico de barcos, entre otras cosas. Al parecer un gran problema adicional es en el control hidráulico producto de la gran amplitud en las mareas en el sector Pacífico.

En 30 de junio de 2004, la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) adjudicó a WL | Delft Hydraulics el contrato para el sexto estudio (informe "F"), para desarrollar el modelo numérico y el análisis de los sistemas de mitigación de la intromisión del agua salada, dirigidos a reducir la intromisión del agua salada en el Lago Gatún y el Corte Gaillard (Corte Culebra) a través de las futuras esclusas Post-Panamax, de acuerdo al diseño *revisado* de un *sistema de esclusas de tres escalones o niveles*, con las siguientes características y dimensiones: longitud nominal de 457.32 metros (1500 pies), ancho de 54.86 metros (180 pies) y profundidad de 16.76 metros (55 pies). Estas medidas son significativamente mayores que las dimensiones de las esclusas de tamaño Panamax existentes y que miden 33.5 metros de ancho por 305 metros de longitud por 13 metros de profundidad. La ACP ha escogido las dimensiones nominales de un buque Post-panamax con una longitud de 385.7 metros (1265 pies), ancho de 45.72 metros (150 pies) y calado de 15.24 metros (50 pies en agua dulce tropical).

En el Informe "E" de WL | Delft Hydraulics de abril 2004 se discutieron varias medidas para mitigar la intromisión de agua salada. Este estudio indicó que la mayoría de estas medidas o sistemas se han aplicado en esclusas y/o probado en condiciones de laboratorio, pero que en la práctica parece que la mitigación de la intromisión del agua salada es un asunto delicado y que los efectos de las medidas dependen mucho de una operación cuidadosa de las esclusas, las condiciones hidráulicas que prevalecen, las intensidades del tráfico, etc., aunque también se indica que las condiciones hidráulicas en el Canal de Panamá son favorables, en el sentido que el nivel de agua dulce del Canal es siempre mucho mayor que el nivel de agua salada en el mar, que es lo contrario que existe, por ejemplo, en las esclusas situadas en las áreas de los deltas en los Países Bajos (Holanda), donde el nivel del mar puede ser mayor y menor que el nivel del agua el canal, sin embargo, los sistemas de mitigación existentes que han probado ser más eficaces no pueden ser aplicados de manera sencilla a las esclusas Postpanamax, ya que se trata de esclusas de un solo nivel con diferencias de niveles de agua entre la poscámara del lado del mar y la antecámara del lado del lago hasta alrededor de 4 metros, que es considerablemente menos que la elevación de aproximadamente 26 metros del Canal de Panamá. Por consiguiente, las velocidades del flujo en estas cámaras de las esclusas también son generalmente menores que en las esclusas del Canal de Panamá. Las velocidades de flujos mayores causan una turbulencia más fuerte y generalmente también una mezcla más intensa de agua salada y agua dulce, lo que no es favorable para la mitigación de la intromisión del agua salada (WL | Delft Hydraulics, 2005).

De acuerdo a este estudio de WL | Delft Hydraulics (2005) la ACP, luego de estudiar los resultados de algunas simulaciones iniciales, tuvo preferencia por el sistema de mitigación I (revisados más adelante), posiblemente para aplicarlo en combinación con el sistema de mitigación IV. Las ventajas del sistema de mitigación I son: 1- efectividad relativamente alta, 2- no se necesitan inversiones adicionales para las esclusas Post-Panamax, 3- el sistema puede utilizarse según se necesite con diversa intensidad. Por ese motivo en el programa de las simulaciones se le prestó mayor atención al sistema de mitigación I que a los demás sistemas de mitigación. Sin embargo, el Plan Maestro de abril de 2006, la ACP no define con claridad los sistemas de mitigación que pretende utilizar y sólo indica en forma potencial la aplicación de algunas medidas en función del análisis de eficiencia, costo y operación, y que estas medidas podrían ser: esclusajes de lavado (*flushing*); cortina de burbujas de aire (*pneumatic barrier*); y sistema de sumidero (*sump*) acompañado de un programa de monitoreo constante. Por lo que se puede determinar que las opciones de medidas de mitigación dependerían, por encima, de los estudios realizados de factores de decisión propios de la ACP. Cabe destacar que entre las medidas probables se encuentra dos medidas de mitigación que requieren estructuras que debe ir en los diseños de ingeniería. Cómo es posible que a esta altura luego de 8 estudios todavía no se sepa con certeza las medidas a implementarse para evitar la intromisión salina. Tampoco sabemos si los diseños que adelantan, están considerando estas medidas.

En la página 21 de 36 en el capítulo 8 sobre aspectos ambientales y sociales del proyecto del Plan Maestro se mencionan el conjunto de alternativas del Programa de Ampliación del Canal, donde se estudió la viabilidad técnica, económica y socio-ambiental de diferentes combinaciones de proyectos de ingeniería, con inclusión de opciones de esclusas (con uno, dos y tres escalones), diversos alineamientos (al este o al oeste del Canal actual), y posibles fuentes de agua (tinajas de reutilización de agua, reciclaje, nuevos embalses dentro y fuera del sistema existente). Según este documento se realizó una serie extensa de talleres internos con personal de todos los departamentos de la ACP, logrando una evaluación integral que permitió identificar las opciones más viables. El resultado del análisis de alternativas para configuración de las esclusas indicó que la opción más favorable es la esclusa post-panamax de tres escalones con tres tinajas de reutilización de agua por escalón, con el propósito de reducir el consumo de agua y la posible afectación de la calidad del agua. Además, se estudiaron diversas medidas para asegurar que con la operación de las nuevas esclusas se mantenga la calidad del agua.

La ACP (2006) en el Plan Maestro de Modernización y Ampliación indica que se escogió la opción de tres tinajas porque así lo sugieren los resultados finales del modelo de simulación desarrollado por *Delft Hydraulics*, ya que indicaron que el diseño de esclusas con tres niveles es óptimo, porque no impacta la calidad de agua dulce del lago Gatún, sin embargo el estudio en realidad recomendó los sistemas de mitigación donde se combinan las esclusas modificadas de 3 niveles con 2 tinajas de reutilización de agua, debido a que se puede realizar un mejor lavado de las cámaras de las esclusas, contrario al uso de tres tinajas que harían poco factible el lavado de la sal de estas cámaras.

Cabe destacar que la propuesta presentada y distribuida, que es la única propuesta vinculante legalmente, no indica ninguna medida en particular, más allá de justificar el uso de las esclusas de tres escalones como medida de disminuir intromisión salina.

Intercambio de sal entre las esclusas y el Lago

De acuerdo a los estudios de WL | Delft Hydraulics la intromisión de sal dentro de los lagos depende en gran parte del tamaño de los buques, del número de buques que transitan, de las operaciones de las esclusas, de operaciones de regresos y es un balance entre la entrada de la sal desde la esclusa superior, el flujo de la densidad de la sal desde las esclusas y la salida de sal debido al aliviadero. Las concentraciones de sal disminuyen gradualmente desde las esclusas. DHI (2005) considera que la variación en el espacio y tiempo cercano a las esclusas es decisivo en cuanto a la determinación de la salida de la sal durante el aliviadero y por ende la importación/exportación neta de sal.

Un modelo cajón de los lagos con tres compartimientos, solo, no puede describir los niveles de sal cerca de las esclusas. Los modelos matemáticos SWINLOCKS describen el intercambio de sal entre las esclusas y los lagos tomando en cuenta todos los procesos empíricamente, pero un acuerdo a DHI (2005) un enfoque del modelo de cajón, solamente, no puede ser utilizado para predecir las condiciones de salinidad actualmente en los lagos y las consecuencias totales en las esclusas Post Panamax. Esto ha sido demostrado mediante una serie de simulaciones hidrodinámicas de la intromisión de agua salada.

Investigaciones adicionales propuestas por WL | Delf Hydraulics

El último estudio de Delf Hydraulics (Informe "F") de abril de 2005 recomienda en sus conclusiones finales varios estudios y análisis hidráulicos claves, para el funcionamiento de las esclusas y las medidas de mitigación. La mayoría de estas recomendaciones son obviamente de funcionamiento hídrico, pero que guardan estrecha relación con el funcionamiento clave de las medidas de mitigación de la intromisión de agua salada que deben implementarse. Estas recomendaciones son claves para que estructuralmente hablando la obra no sea un fiasco y provoque situaciones graves inesperadas.

Además WL | Delf Hydraulics hizo las siguientes recomendaciones en este estudio, que la interpretamos como medidas precautorias frente a un problema complejo. Advirtieron que los estudios de la intromisión del agua deben enfocarse, en particular, en el fenómeno del flujo de la densidad y los procesos de mezcla en las cámaras, antecámaras y poscámaras de las esclusas en el diseño final de las mismas, incluso las tinas de reutilización de agua y los sistemas de mitigación.

Los sistemas de mitigación I y II exigen una verificación del fenómeno que ocurre cuando se da la transferencia de agua por los escalones de una cámara a otra cámara de la esclusa sin abrir las compuertas de las esclusas; el sistema de mitigación III (con un pozo de sal) exige una verificación del proceso del influjo de agua salada y la descarga subsiguiente de agua del pozo de sal y el funcionamiento del sistema de mitigación IV (con la barrera neumática) tiene que verificarse para probar su funcionamiento en el agua profunda del Canal de Panamá, el cual se asume que será poco efectiva, ya que se trata de aguas profundas.

Con los cuatro sistemas de mitigación ocurre que los coeficientes que se escogen para utilizarlos con las simulaciones de SWINLOCKS deben basarse en mayores estudios experimentales en la etapa final del diseño de las esclusas Post-Panamax.

Se aconseja realizar el modelaje a escala en combinación con el modelaje numérico. Las pruebas de los modelos a escala se necesitan para estudiar los procesos físicos y apoyar la inclusión de los detalles del diseño, mientras que los modelos matemáticos pueden utilizarse para estudiar los procesos generales y los efectos a largo en la calidad del agua. Los modelos a escala deben comprender, preferiblemente, una configuración de la poscámara de las esclusas que incluya los elementos correspondientes de las tinas de reutilización de agua y los sistemas de mitigación.

La disponibilidad del agua dulce adicional proveniente de nuevas fuentes de agua tiene una fuerte relación con la operación de las esclusas Post-Panamax y la lucha contra la intromisión del agua salada en el lago Gatún. Se aconseja que se estudie a cabalidad en el futuro el control de agua del lago Gatún tomando en consideración las variaciones naturales de la precipitación pluvial en el área de la cuenca del Canal de Panamá, la creciente necesidad de agua para la operación de las esclusas existentes y Post-Panamax, incluso los sistemas de mitigación, la creciente necesidad de agua dulce para el uso doméstico y la industria, la necesidad de agua para la generación de energía eléctrica, así como la consideración de las demandas que genera la preservación de un ambiente acuático saludable. Ello requiere un enfoque integrado de la administración de la cuenca hidrográfica.

Cuando se opta por un abastecimiento mínimo de agua dulce adicional, el agua del lago Gatún debe mantenerse al mayor nivel que sea posible en la temporada de lluvias. Con un método semejante de control de agua, el agua sólo se descarga desde el lago cuando el nivel de agua amenaza sobrepasar el nivel del límite superior. Cuando la capacidad de descarga de la Represa de Gatún sea suficiente para

descargar instantáneamente inundaciones por causa de los aguaceros intensos en el área de la cuenca del Canal, el nivel de agua en que debe comenzar la descarga de agua puede escogerse cerca del nivel del límite superior del lago. Esto debe estudiarse con mayor detalle, también con relación al uso del agua para la generación de energía eléctrica en la Represa de Gatún, y con relación a posibles reservorios de toma de agua dulce en el futuro.

Ante estos planteamientos la decisión de la ACP para aumentar la cantidad de agua requerida, ha sido el aumento del nivel de lago Gatún en 0.45 metros. Situación que como veremos más adelante en el Plan Maestro, no es suficiente para la demanda requerida.

Informes de URS Holdings, Inc. –Evaluación ecológica de un lago tropical con énfasis en los cambios de salinidad de los lagos (Gatún y Miraflores) Marzo, 2005

En marzo de 2005 la ACP recibió el informe confeccionado por URS Holdings, Inc. para evaluar la ecología de un lago tropical con énfasis en cambios en la salinidad de los lagos, donde se estudiaron escenarios de mitigación de tres tipos: los sistemas que previenen la intromisión y los sistemas que remueven la sal que ha entrado a la antecámara o al lago y los sistemas de rompimiento de columna de agua salada. En este estudio la ACP preseleccionó cuatro sistemas de mitigación: 1, 2, 9 y 10, de un total de 10 medidas, que a su vez pasaron a ser, para los efectos de este estudio en los sistemas de mitigación I, II, III y IV, sin embargo, indican que tal como lo sustenta WL | Delft Hydraulics el Canal es único en su estructura y elevación de un cuerpo de agua salado versus el cuerpo de agua dulce por el otro lado.

Sistema de mitigación I -- *el lavado por escalón de todas las cámaras de las esclusas (esclusaje simulado)*

Este sistema no requiere disposiciones estructurales especiales; es una operación que debe ejecutarse regularmente entre dos esclusajes. Consiste en pasar progresivamente agua dulce desde el lago hacia las esclusas en cascada, como un esclusaje normal pero sin barcos y sin activación de las tinas de reutilización. La idea de este sistema sería diluir los niveles de salinidad. El gran inconveniente de este sistema es que asume que el lago nunca tendrá niveles de salinidad acumulada y también se requeriría después de cada esclusaje de subida o bajada, por tanto, la demanda de agua adicional, se incrementará substancialmente en la operación de las mismas.

URS Holding indica que este sistema es fácil de usar y que no requiere costos adicionales, afirmación que no compartimos, ya que asumen que el consumo adicional de agua no tiene valor y asume que el Canal la proveería en abundancia, situación que sabemos sería insostenible por el déficit de agua, a menos que se encuentre una fuente de agua adicional a las propuestas.

Los costos adicionales que no contabilizan estarían en función de la falta de oportunidad de agilizar el tráfico y del ahorro de agua. Esta propuesta pone en jaque los pronósticos de esclusajes y por ende el rendimiento económico esperado. También este sistema supone la reducción en un tercio de los niveles de salinidad en cada cámara, siendo más efectivo en la dilución a nivel de la esclusa inferior a nivel del mar.

Sistema de mitigación II --*el lavado mejorado de las cámaras superior e inferior de las esclusas*

Tiene una efectividad mayor que el sistema I, pero con una pérdida similar de agua. Se espera una demora en el tránsito en caso de una operación en relevo. Hay que prestar atención al cierre de las válvulas de las alcantarillas con flujo de agua. Su implementación involucra gastos adicionales de construcción. Se trata de un lavado de la cámara del medio y de la cámara superior. Consiste en bajar el nivel de la cámara del medio al nivel más bajo de la cámara inferior y pasar el agua a través de una válvula adicional a la post-cámara.

Sistema de mitigación III -- *captura de agua salada en un pozo profundo perforado y drenar el agua salada sacándola por la poscámara de la esclusa*

Ofrece una gran efectividad con una utilización moderada de agua adicional. El drenaje de agua salada no causa demoras ni obstaculiza el tránsito. Debido a que el agua salada en el pozo no se posa inmediatamente después del influjo, puede necesitarse un sistema de monitoreo de la concentración de sal para optimizar el programa de drenaje. También puede requerirse un monitoreo regular en vista de la sedimentación del pozo. La construcción del pozo profundo con un sistema de drenaje es costosa.

Este sistema debería ser un sistema de salvaguarda, cuando con los niveles de salinidad excedieran los límites máximos permisibles con los otros sistemas de mitigación. Este dispositivo debe ser incluido de manera obligatoria en los diseños y construcción de las esclusas.

Sistema de mitigación IV — Barreras neumáticas en la entrada de la esclusa inferior

Tiene una efectividad baja, pero no requiere utilización de agua adicional. Puede aplicarse con éxito sólo cuando se abran brevemente las compuertas de la poscámara de las esclusas hasta el área de la antecámara. El sistema es barato, pero el costo de operación (la energía que requiere para operar los compresores de aire) puede ser alto.

Este sistema consiste en proveer de una barrera neumática (cortina de aire) en la entrada de la primera esclusa a nivel del mar con tal de evitar que el agua salada se deslice de manera compacta como una lengua por debajo del cuerpo de agua dulce.

Nuestro análisis de esta propuesta nos indica con certeza una cosa: la ACP no parece tener las intenciones en invertir en medidas de mitigación que implica la construcción de estructuras más efectivas, que van desde pisos perforados, pozos de captación de agua salada, alcantarillas de lavados, que al ser medidas estructurales suponen un aumento de la complejidad de los diseños y aumento de los costos de construcción.

Las conclusiones de este estudio revisionista de URS Holding indican que efectivamente el conjunto de estudios previos han conllevado la preselección de cuatros sistemas de mitigación, descritos arriba. Igualmente indican que la ACP debe ser muy cuidadoso acerca del descarte de las posibles medidas de mitigación, tales como el pozo de sal, hasta que no sea bien analizado los efectos de varios escenarios operativos y financieros, la salinidad

Estudios complementarios de DHI Water and Environment

El estudio de DHI Water and Environment de noviembre de 2005, revisó los estudios que WL | Delft Hydraulics realizados para la ACP, donde se ratificó la necesidad de investigaciones adicionales propuestas para así poder completar el entendimiento de la intromisión de agua salada tanto en la actualidad y después de la construcción de las Esclusas Post Panamax.

Dentro de los hallazgos o corroboraciones realizadas por DHI ellos informan que los modelos de cajón como son los SWINLOCKS utilizados por WL | Delft Hydraulics, de los lagos con tres compartimientos, no pueden por sí mismos describir los niveles de sal cerca de las esclusas. Los modelos SWINLOCKS describen matemáticamente el intercambio de sal entre las esclusas y los lagos tomando en cuenta todos los procesos de manera empírica. DHI indica además que un enfoque del modelo de cajón, solamente, no puede ser utilizado para predecir las condiciones de salinidad actualmente en los lagos y las consecuencias totales en las esclusas Post Panamax. Esto ha sido demostrado mediante una serie de simulaciones hidrodinámicas de la intromisión de agua salada.

Los estudios adicionales requeridos, según DHI son los siguientes:

1. Mejorar el conocimiento de flujo e inclinaciones de salinidad en los lagos en los alrededores de las esclusas mediante la combinación de las medidas y simulaciones con modelos 3D. Las medidas de salinidad deben ser previstas para valores de salinidad muy bajos y complementados con análisis de muestras de agua para definir la composición química del agua del lago al igual que las aguas tributarias para establecer un panorama adecuado de salinidad. Las medidas de salinidad podrían ser complementadas con estudios de rastreo para proveer una medida independiente de la intrusión del agua de mar dentro del Lago Gatún.
2. Determinar mediante modelos tridimensionales (3D) el flujo y los niveles de inclinación por salinidad en los lagos y en los alrededores de las esclusas Post Panamax.
3. Determinar a largo plazo la concentración de sal en los lagos (escala de tiempo anual) posterior a la construcción de las esclusas Post Panamax mediante la combinación de simulaciones 3D y un modelo de las esclusas. DHI determinó que no es sencillo establecer un procedimiento para esta combinación, ya que la salinidad cercana a las esclusas varía con los esclusaje norte o sur, en donde a medida que se aleja de las esclusas la variación es más lenta en una escala de tiempo de meses a años. Para determinar las concentraciones de sal a largo plazo se requiere que ambas escalas de tiempo sean resueltas en el modelo.
4. Establecer un programa de monitoreo a largo plazo de la salinidad y biología. Este programa debe ser sostenido por un sistema de calidad de agua del canal y un análisis de la sensibilidad biológica del sistema con respecto a los cambios de salinidad.

Estudios de Moffatt & Nichol Engineers de 2004 sobre las opciones de diseño de las esclusas propuestas

Este estudio revisó las opciones finales de esclusas y tinas a utilizarse con la finalidad, según la ACP, de llenar objetivos de maximización de los usos de agua y disminución de los riesgos de intrusión salina. Lo interesante es que dentro de las opciones estudiadas no se llegó a analizar la estructura tal y como la ACP la está presentando en este momento, ya que la opción más similar estudiada fue la opción 2 que incluía tres niveles y tres tinas por nivel pero sólo para el lado del Pacífico (no se estudió el escenario en el Atlántico).

Las conclusiones de este estudio de cuatro opciones de esclusas, que incluyeron la opción que actualmente se ha seleccionado, son alarmantes y nos indica que al hacer un diseño para un rango más pequeño de niveles de agua y longitudes de cámaras, las alturas del muro de la esclusa y la tina se redujeron considerablemente si se comparan con los resultados de estudios previos con paredes de esclusas más altas. Sin embargo, este beneficio no se da sin consecuencias graves. En primer lugar, estas opciones requerirán una cantidad de agua considerablemente mayor del lago en el transcurso del tiempo que los sistemas diseñados por esta misma empresa.

Nuestros cálculos conservadores, indican que las esclusas actuales utilizarían por lo menos entre un 76 y 80 por ciento de agua adicional por esclusaje, contrario a lo que indica el Plan Maestro que utilizarían 7 por ciento menos de agua por esclusaje en comparación con las esclusas actuales. La gran diferencia está en que la ACP no ha contabilizado como agua de esclusaje el agua adicional que requerirían para los sistemas I y II de mitigación de lavado de sal de las esclusas.

Cabe también destacar que la ACP, en la propuesta y el Plan Maestro, partieron de cifras incorrectas para hacer los cálculos de demanda futura de agua para uso humano, donde mantienen un valor casi constante de 5 esclusajes a lo largo del tiempo, cuando esto es completamente distinto al escenario informado por Wpsi, Inc. (2002), cuyos escenarios mínimos de consumo humano casi duplican las proyecciones de la ACP. Esto sumado a los esclusajes de lavado, no lleva a que todas las proyecciones de esclusajes como producto de la ampliación sean muy distintas a las estimadas y quedan completamente sin sustento con las consecuencias económicas que ello implicaría. Esta situación de

déficit de agua para realizar correctamente las medidas de mitigación y el mantenimiento de los niveles óptimos de agua requeridos para el funcionamiento óptimo del Canal, de por fuerza necesita en el futuro inmediato, una fuente adicional de agua, lo cual probablemente sea Río Indio.

Esta posibilidad la deja abierta un párrafo del Plan Maestro, el cual nos indica textualmente lo siguiente: “Subir el nivel del lago Gatún de su nivel actual de 87.5 pies a un nuevo nivel máximo de 27.12 metros (89 pies), generaría un rendimiento hídrico adicional de 3 esclusajes. Desde un punto de vista de costo, este proyecto tiene la mejor relación entre costo y rendimiento hídrico entre todas las alternativas estudiadas. No obstante, al igual que con las opciones de tinas de reutilización de agua, esta opción por sí sola no provee el rendimiento hídrico suficiente para satisfacer la demanda de agua pronosticada”. Con los datos que hemos aportado, esta necesidad se hace más evidente.

También el estudio de Moffatt & Nichol Engineers (2004) advierte que puede haber asuntos de seguridad y posibles paros en el servicio con este sistema, ya que el sobrellenado de las esclusas y las tinas será una preocupación real debido a que el rango total de los niveles del lago y la marea, así como las longitudes de la cámara, no se están considerando en este nuevo diseño. Es cierto que el costo de las tinas será ahora menor, pero los sistemas necesarios de vertido y posible recirculación podrán anular este ahorro de costos a largo plazo, especialmente si también incluye la probabilidad de tiempo perdido debido a accidentes (sobrellenado) que pueden ocurrir aún con los sistemas de control implementados a prueba de fallos.

Finalmente, Moffatt & Nichol Engineers (2004) advierten, con estos nuevos sistemas, no siempre se logra la meta del porcentaje de ahorro de agua. En efecto, cuando los niveles del lago están en su nivel más bajo (menos de 81 pies), el porcentaje de ahorro de agua está en su peor momento teniendo en cuenta que las tinas se diseñaron para operar plenamente en los niveles del lago de 81 pies y más altos. Nuestra opinión al respecto es que esta aseveración es crítica para la viabilidad del proyecto.

Este estudio concluyó con el siguiente enunciado: el peso de los costos, el uso total del agua, las características operativas de la esclusa, la seguridad, el mantenimiento y las metas de tránsito de naves se deben considerar cuando se decide qué opciones ameritan mayor investigación.

Estudios del Consorcio Post-Panamax de junio de 2004

Este estudio consistió en diseñar conceptualmente formas de reciclar agua en las esclusas Post-Panamax y sus costos. Este estudio no lo analizaremos porque se asume que sus hallazgos fueron totalmente descartados, dado que el sistema de reciclaje, provocaría altos niveles de salinidad en muy corto tiempo y enormes costos operativos.

Plan Maestro de Modernización y Ampliación del Canal de Panamá (2006)

De acuerdo a la ACP, el Plan Maestro es un mapa de la ruta para el desarrollo sostenible de la capacidad del Canal. Según esta entidad estatal este plan “no es una colección de estudios técnicos y pronósticos”, argumento que cuestionamos dados los hallazgos y las incongruencias que hemos encontrado entre los estudios realizados y lo que este documento de trabajo ha plasmado o ha decidido. Desde el punto de vista ambiental, su primera incongruencia inconcebible es dejar hasta segunda orden un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del complejo proyecto, como si un EIA no fuese un requisito legal y un documento clave para una toma de decisión responsable y sobre todo un documento vinculante en los datos que provee y en las medidas de manejo ambiental que deben asegurar que efectivamente los proyectos se ejecuten con responsabilidad ambiental durante todas las etapas del mismo.

La ACP hasta la fecha no ha realizado ningún estudio de impacto ambiental de los otros proyectos que tiene en marcha, lo más cercano a un EIA que ha realizado son evaluaciones o estudios de factibilidad ambiental o levantamiento de líneas bases de recursos naturales y sociales, que como lo hemos dicho anteriormente, no son documentos vinculantes que obliguen a la ACP a respetar los compromisos de

manejo ambiental, mitigación o compensación por daños causados. Estos documentos sólo sirven de insumo parcial a lo que es un EIA completo del proyecto. Por ejemplo, para el caso de impactos ambientales tales como la afectación a la cantidad y la calidad de agua de los lagos del Canal de Panamá, por efecto del proyecto de ampliación, no sólo basta tener estudios parciales de línea base, como los que hemos analizado a lo largo de este escrito. Se requiere además de un análisis completo con especialistas y todos los ciudadanos que deseen evaluar el cuadro de impactos y las medidas de manejo ambiental, etc.

El Plan Maestro en los capítulos correspondientes a los recursos hídricos y los aspectos ambientales y sociales, utilizan parcialmente los datos y conclusiones de los estudios científicos o de ingeniería que han realizado en los últimos años. Por ejemplo, a diferencia de los estudios de salinización discutidos arriba, la ACP, sin ninguna sustentación en los estudios que han pagado, indica que los panameños no deben preocuparse por los niveles de salinidad, dado que justamente las cifras que presentan, increíblemente caen justo por debajo de los límites máximos permisibles de calidad de agua para consumo humano o para el mantenimiento ecológico del Lago Gatún y Miraflores.

La gravedad del asunto no acaba allí, en la Propuesta de Ampliación del Canal de Panamá, a través de un Tercer Juego de Esclusas, que es el documento que han ofrecido de orientación a la comunidad nacional, indican textualmente la siguiente falsa afirmación: “Estudios realizados por WL | Delft Hydraulics determinaron que el uso de tres tinajas de reutilización de agua por cámara no afectará la calidad de agua del lago Gatún, el cual se mantendrá como un ecosistema estable lacustre de agua dulce, y cuya agua continuará siendo apta para ser potabilizada para consumo de la población”. Como se puede apreciar, ningún estudio les ha dado estas conclusiones que ellos incluyen en el único documento que realmente es de dominio público y que se ha difundido de manera masiva en la población.

Conclusiones

De todo este conjunto de estudios que afectan la cantidad requerida para el proyecto y la calidad de agua y los aspectos relativos al impacto de posible salinización de las aguas dulces del Canal de Panamá, realizados por **WL | Delft Hydraulics** (5 estudios), **DHI Water and Environment** (1 estudio), **Moffatt & Nichol Engineers** (2004) (2 estudios) **Consorcio Post-Panamax** (1 estudio) y **URS Holdings, Inc** (2 estudios), se puede decir que estos estudios no le dan viabilidad ambiental, de hecho no están confeccionados para dar viabilidad, fueron hechos para tomar decisión sobre la estructura y las medidas de intromisión salina por efecto del proyecto de ampliación. Estos estudios concluyen con más dudas que con respuestas concretas y todos sugieren profundizar estudios y análisis de escenarios más específicos.

El escenario final decidido por la ACP es una mezcla de probables escenarios recogidos en los estudios, lo que lo convierte en un nuevo proyecto, que requiere por defecto, estudios profundos específicos ante el escenario final propuesto. De esto no se ha avanzado casi nada. Por tanto, no comprendemos cómo se pudo traer ante la opinión pública un análisis de aprobación o rechazo de un proyecto que no tiene un diseño conceptual completo, ni mucho menos un diseño final. Recordemos que el escenario final no sólo son las nuevas esclusas propuestas; incluye otra serie de obras civiles de gran magnitud y obras civiles complementarias que ni siquiera se han mencionado hasta el momento.

La salinización, aun pequeña, del Lago Gatún y el Lago Miraflores se estarían provocando una serie de impactos encadenados, acumulativos y sinérgicos severos. Entre ellos destacan el cambio ecosistémico de los lagos y el probable paso de especies de un océano a otro que pueden provocar enormes daños ecológicos inimaginables en el sistema de arrecifes de coral del Caribe, entre otros.

Desde el punto de vista social, de aumentarse por encima de 0.45 ppm (mg/L) la salinidad de los lagos se perdería la calidad de agua óptima para ser utilizada como fuente de agua potable, como ya ha ocurrido con el agua del Lago Miraflores, donde se tuvo que cambiar la toma de agua de Miraflores hacia el corte Culebra a la altura de Paraíso, debido a que la salinidad no controlada que dio en el Lago Miraflores.

Los estudios arriba mencionados sustentan que la salinización por efecto de un tercer juego de esclusas más las esclusas actuales es un problema **muy serio y de difícil solución**, dado lo complejo y la difícil comprensión de los flujos y reflujos de tres tipos de agua: agua dulce, agua salobre y agua salada en el sistema del Canal de Panamá actual y futuro. Esta difícil situación incluye altos costos adicionales, demoras operativas y alto consumo de agua, que son aspectos claves a considerar para determinar la viabilidad del proyecto.

Nos preocupa que la salinización significativa que se supone no debiera ocurrir con las esclusas actuales, si se ha dado, y la ACP a pesar de conocer este problema, hasta la fecha, no ha implementado ninguna medida para detener o mitigar este problema.

En el lago Gatún por suerte, todavía los niveles de sal no han alcanzado niveles críticos, pero en todo caso, pero es lógico suponer y así lo reflejan los estudios realizados que la salinidad pudiera aumentar en más de un 350 por ciento, como mínimo, lo que hace que este proyecto sea de alto riesgo ambiental. Sólo una fuerte inversión en medidas concretas de este impacto, puede asegurar que este impacto no se vuelva peligroso.

REFERENCIAS

- ACP. 2006. Plan Maestro del Canal de Panamá. Autoridad del Canal de Panamá. Panamá.
- ACP. 2006. Propuesta de ampliación del Canal de Panamá: Proyecto del tercer juego de esclusas. Autoridad del Canal de Panamá. 76 pp. + Anexos.
- CEREB-UNIPAN. 2004. Evaluación ambiental de proyecto de profundización del Cauce de Navegación del Canal de Panamá. Consorcio Post-Panamax. 2004. Conceptual design to recycle water in Post-Panamax locks –cost stimate. Autoridad del Canal de Panamá.
- Delft I Hydraulics. 2003. Salt water intrusion analysis Panama Canal Locks, existing situation. Report A.. Junio 2003. Autoridad del Canal de Panamá.
- Delft I Hydraulics. 2003. Salt water intrusion analysis Panama Canal locks, future situation: Post-Panamax Locks, single lift locks, Report B. Septiembre 2003. Autoridad del Canal de Panamá.
- Delft I Hydraulics. 2003. Salt water intrusion analysis Panama Canal locks, future situation: Post-Panamax locks, three lift locks, report C. September 2003. Autoridad del Canal de Panamá.
- Delft I Hydraulics. 2003. Salt water intrusion analysis Panama Canal locks, future situation: Post-Panamax locks, two lift locks, report D, September 2003. Autoridad del Canal de Panamá
- Delft I Hydraulics. 2005. Salt water intrusion analysis Panama Canal Locks, future situation: Post-Panamax locks, study, modelling and analysis of salt water intrusion mitigation systems for revised 3-Lift locks configuration, report F, April 2005. Autoridad del Canal de Panamá
- DHI Water and Environment. 2005. Review of Saltwater Intrusion and Mitigation Studies and Models for Proposed Post Panamax Locks. Autoridad del Canal de Panamá.
- Jones, M. L y C. E. Dawson. 1973. Temperature and salinity profiles in the Panama Canal locks. Marine Biology 21, 86-90
- Kerstma, J., P. A. Kolkman, H. J.Regeling, W. A. Venis. 1994. Water quality control at ship locks. Prevention of salt and fresh water exchange. A.A. Balkema. Rotterdam. 92 pp.
- Menzies, R. J.1968. Transport of marine life between oceans through the Panama Canal. Nature, 220, 802-803.
- Moffat & Nichol Engineers. 2004. Study of additional combinations of Locks' water saving basins for proposed Post-Panamax Locks at the Panama Canal.
- Moreno, J. 2006. Tercer juego de esclusas: impacto ambiental al recurso hídrico en la Cuenca del Canal de Panamá. Universidad de Panamá –Escuela de Biología. Informe académico. 4 pp.
- U. S. Army Corps of Engineers. 2000. Salinity intrusion in the Panama Canal. T. M. Parchure, S.C. S. C. Wilhelms, S. Sarruf, y W. H. McAnally (Eds). Engineer Research and Development Center. 278 pp.
- URS Holdings, Inc. 2005. Tropical lake ecology assessment with emphasis on changes in salinity of Lakes –Final technical memorandum No. 8. Review of proposed mitigation measures.
- Wpsi Inc. 2002. Feasibility study report –Panamá Canal locks water reclamation project Panama Canal, Panamá. Inter- American Development Bank y Autoridad del Canal de Panamá. 271 pp.