



## **EL ROL DE LA OCEANOGRAFÍA EN EL DISEÑO DEL EMISARIO SUBMARINO PARA LA BAHÍA DE PANAMÁ**

**Bogdan Kwiecinski, Yina Rodríguez, Víctor Rodríguez**

Universidad de Panamá, Departamento de Biología Marina.

### **RESUMEN**

Con el fin de actualizar lo que sabemos sobre la problemática del saneamiento de la Bahía de Panamá, se concluyó recientemente en la Universidad de Panamá, una modelación sobre las características del emisario que podría cumplir con el saneamiento de acuerdo con las normas internacionales de salubridad para aguas recreacionales. Este estudio definió, entre otros, el coeficiente de la dilución inicial y el coeficiente de la dilución física, lo que en conjunto con el conocimiento del coeficiente de la mortandad de bacterias (T-90) en el mar, permite hacer proyecciones en el tiempo y el espacio en cuanto a la dilución total. Mediante modelos matemáticos adecuados se puede estimar la longitud óptima del emisario necesario para mantener el litoral libre de contaminación bacteriana, de acuerdo con las normas internacionales de salubridad. Para tal fin, se aplicaron los Programas Plumes y Surfer para llegar a la conclusión de recomendar la disposición de las aguas servidas de la ciudad sin ningún tratamiento, excepto la separación de los sólidos, a través de un emisario de 9,000 metros de longitud total.

### **PALABRAS CLAVES**

Contaminación bacteriana, emisario submarino, dilución inicial, dilución física, dilución total, mortandad de bacterias, T-90, Programa Plumes, Programa Surfer.

### **INTRODUCCIÓN**

Casi la mitad de la población del país vive en la Ciudad de Panamá. A comienzos del siglo XXI, la población de la ciudad

sobrepasará el millón de habitantes. La expansión demográfica estará acompañada por el aumento de las descargas de aguas servidas hacia la Bahía de Panamá. Actualmente, las aguas servidas descargan en la bahía a través de 20 acueductos y tres ríos: el Río Matasnillo, Matías Hernández y Juan Díaz, todos sin ningún tratamiento. La carga de aguas servidas que son drenadas a la Bahía se estima cerca de 50 millones de toneladas e introducen cerca de 20,000 toneladas de BOD/año (D´Croz, 1988).

### **ANTECEDENTES**

Históricamente, la primera atención hacia la contaminación de la Bahía de Panamá fue prestada por la entonces Compañía del Canal de Panamá, efectuándose un estudio muy amplio sobre la materia.

Este estudio, de duración de más de dos años, abarcó la problemática de la contaminación de todo el Sistema Acuático de la entonces Zona el Canal (González et all, 1975 ).

En 1976 se efectuó un estudio de ingeniería para el IDAAN a través de la Cia. Tecnipan-Hazan and Sawyer, que enfoca básicamente la parte Oriental de la Bahía.

Los resultados de este estudio nos proporcionan las informaciones sobre la contaminación de las aguas y los sedimentos de las áreas, además una cantidad de los datos pertinentes a la oceanografía, decisivos en esta materia, tales como información sobre: estratificación de las aguas, corrientes netas, corrientes de mareas, dispersión física, movimientos de las partículas y la mortandad natural de las bacterias en el mar.

Todo esto en dos versiones, con o sin tratamiento, además con las proyecciones para el cercano futuro, pendiente la realización del proyecto de la decisión administrativa del país (I.D.A.A.N,1977). Y después que pasó?.....pues nada.

Vale la pena mencionar que en adición a la alta concentración de las bacterias, también debe preocupar la acumulación de sedimentos y materia orgánica que llega a la Bahía a través de los alcantarillados y los ríos adyacentes. Este hecho perjudica seriamente los aspectos sanitarios y estéticos de la Bahía, creando un impacto negativo especialmente pronunciado a lo largo de la Avenida Balboa y sus alrededores.

En los años posteriores fueron actualizados los estudios mencionados indicando un significativo aumento de la contaminación bacteriana tanto en la parte Oriental como en la Occidental de la Bahía (D´Croz ,1988 ).

Se identifica como el área de mayor contaminación la parte del Litoral de la Bahía entre Punta Paitilla y El Casco Viejo, y que los más grandes impactos ambientales negativos en la contaminación de la Bahía son:

1. Alta concentración de bacterias coliformes totales y coliformes fecales en una franja litoral de cerca de una milla de ancho, lo que representa un impacto negativo de la salubridad.
2. Sedimentos y materia orgánica cuya descomposición, causa los malos olores, lo que se evidencia en mareas bajas en la Avenida Balboa, lo que representa tanto impacto negativo, estético como sanitario. Plásticos, chatarras y basuras flotantes, lo que representa el impacto negativo estético, no así de salud (Kwiecinski, 1997).

Para contrarrestar esta contaminación por aguas servidas la Ingeniería Sanitaria dispone de varias opciones que incluyen: Plantas de tratamientos, emisarios submarinos por separados o en conjunto con las plantas de tratamiento. De estas tres opciones, la tendencia en los últimos 20 años en América Latina es casi exclusivamente a favor de los emisarios (previa separación de los sólidos).

El emisario submarino consta de una tubería de plástico, cemento o metal de diámetro cerca de 1m que termina con un difusor o sea un tubo perpendicular al conducto principal. El difusor contiene una cantidad de pequeñas aberturas espaciadas convenientemente lo que hace que las aguas servidas entran al mar como una lamina a lo ancho del tubo difusor.

El diseño del emisario, y ante todo su longitud, depende de varios factores tales como: parámetros de ingeniería, de efluente, de medio ambiente y de coeficientes físicos.

Al disponer de estos datos, se introducen en los modelos matemáticos, que a su vez proporcionan la indicación sobre la concentración de coliformes a distancia escogida desde el punto de descarga, lo que permite hacer proyecciones en el tiempo y espacio en cuanto a la dilución total de los coliformes en el área.

### **LOS MODELOS MATEMÁTICOS EN EL DISEÑO DEL EMISARIO SUBMARINO PARA LA CIUDAD DE PANAMÁ**

Con el fin de actualizar lo que sabemos sobre la problemática del saneamiento de la Bahía, se concluyó recientemente en la Universidad de Panamá, un estudio sobre las características del emisario que podría cumplir con el saneamiento de acuerdo con las normas internacionales de salubridad.

Este estudio definió, entre otros, el coeficiente de la dilución inicial y el coeficiente de la dilución física, lo que en conjunto con el conocimiento del coeficiente de la mortandad de bacterias en el mar, nos permiten hacer proyecciones en el tiempo y espacio en cuanto la dilución total, mediante la aplicación de modelos matemáticos adecuados. Por ende nos permite estimar la longitud del emisario necesario para mantener el litoral libre de la contaminación bacteriana de acuerdo con las normas internacionales de la salubridad.

La descarga de las aguas residuales en océanos y mares producen cambios en las características ambientales a través de procesos como floculación y sedimentación, oxidación de la materia orgánica, reducción bacteriana y, naturalmente, dilución.

En esta etapa, la dilución tiene dos fases: la llamada dilución inicial que es la mezcla inicial del efluente con el océano a través de mecanismos accionados por diferencias de temperatura y densidad; y la denominada dilución física que es el arrastre lateral de la mezcla de líquido residual y agua oceánica subsiguiente a la dilución inicial.

Estos dos parámetros, nos proporcionan la información sobre el coeficiente de dilución inicial y el coeficiente de dilución física, lo que en conjunto con el conocimiento del coeficiente de la mortandad de bacterias, nos permiten hacer proyecciones en el tiempo y el espacio en cuanto a la dilución total mediante modelos matemáticos adecuados.

Tres fenómenos afectan la dilución inicial: la mezcla causada por el impulso de las aguas servidas al salir del emisario submarino; la fuerza ascendente causada por la diferencia de densidad entre las aguas residuales y las aguas del mar (diferencias en temperatura y salinidad), que hace que el campo de aguas servidas ascienda en la columna de agua extendiéndose en el proceso y, por lo tanto, mezclándose con agua de mar; y, finalmente, el efecto de la corriente, que causa una mezcla lateral de agua de mar renovadora en el campo de las aguas residuales.

En el campo, aguas residuales diluidas, pueden ascender a la superficie, o llegar a un nivel sumergido, dependiendo del grado de estratificación de la columna de agua. Brooks (1983) ha desarrollado un modelo que estima la dilución inicial que se puede lograr en función de los parámetros de profundidad, diámetro y velocidad de salida y diferencias en densidad.

Posteriormente, Roberts, (1987) desarrolló un modelo que permite estimar la dilución inicial para diferentes estructuras de

corriente, con o sin estratificación. El diseño apropiado del difusor del emisario submarino es crítico para alcanzar el nivel deseado de dilución. La longitud, profundidad y orientación así como el área y la separación de los orificios de descarga, son parámetros claves del diseño. Rawn (1961) ha presentado métodos para el diseño de difusores y éstos han sido incorporados en un programa de computadora por Salas (1983).

Dispersión horizontal y transporte son función del régimen de corrientes locales y dispersión turbulenta (mezcla lateral causada por corrientes turbulentas). Brooks, (1960) ha desarrollado un modelo que caracteriza adecuadamente estos procesos para estimar la dilución horizontal y Ludgwig (1988) ha confeccionado un modelo simple logarítmico de mortandad bacterial que provee una predicción adecuada de la desaparición de coliformes.

La dilución total obtenida como resultado de los tres procesos descritos, es simplemente el producto de las diluciones individuales. (Salas, 1994).

Estos son para bacterias:

$$Dt = Di \times Dh \times Db$$

$$Ct = Co / Dt$$

Donde:

Dt = Dilución total

Di = Dilución inicial

Dh = Dilución horizontal

Db = Desaparición de coliformes

Co = Concentración inicial de coliformes en las aguas residuales

Ct = Concentración de coliformes después de T horas (en las playas).

Posteriormente, todos esos componentes, incluyendo los parámetros de ingeniería, oceanografía y bacteriología, se introducen al modelo especialmente diseñado para determinar las

concentraciones de los coliformes a diferentes etapas, según el tiempo y espacio.

## **PARTE EXPERIMENTAL**

La presente investigación, consta básicamente de tres etapas:

1. La adquisición de datos pertinentes referentes a distintos parámetros:
  - a. Parámetros de ingeniería: Dentro de este contexto se aplica la profundidad de 20 metros, el flujo de 3 metros cúbicos/seg., número de puertas 285 , diámetro de la puerta 0.085 m y la elevación de la puerta 0.84m.
  - b. Parámetros del efluente: concentración inicial de coliformes totales en el afluente de aguas servidas y la tasa de mortandad de bacterias en el ambiente T-90.

Para los coliformes se aplica el valor de concentración total igual a 100 millones de coliformes por 100 ml, muy cerca de lo reportado para la ciudad de Río de Janeiro (Salas 1994 ).

Se aplica la misma tasa de mortandad de bacterias reportadas por TECNIPAN-HAZEN AND SAWYER, de ser T-90 =5 horas para aguas de la Bahía de Panamá. (I.D.A.A.N., 1977), más un variante de T-90 = 3 horas.

- c. Parámetros oceanográficos del medio ambiente, tales como: la salinidad, la temperatura, la densidad, la dirección y velocidad de corriente neta y de marea.

En cuanto a los parámetros de oceanografía presentes en la bahía, se reconoce la salinidad 20-30 permiles (temporada de lluvia) y 30-35 permiles (temporada seca), al igual que la temperatura 28 grados centígrados (temporada de lluvia) y 20 grados centígrados (temporada seca), respectivamente.

Se aplican los valores del coeficiente de la dilución física 0.0003 m-e 2/3/seg. y la velocidad de corrientes entre 5 cm/seg y 15 cm/seg indicados por TECNIPAN-HAZEN AND SAWYER (I.D.A.A.N., 1977).

2. Determinación de la concentración de coliformes totales en el tiempo y espacio:

Una vez teniendo los datos disponibles, se les introduce en diversas combinaciones en el programa específicamente diseñado para tal fin " ERL-N program PLUMES ", que especifica y detalla la concentración de coliformes distancias escogidas desde el punto de la descarga, ( Fig. 1 ).

3. Presentación gráfica sobre los mapas de la concentración de coliformes totales en el área:

Esta presentación se lleva a cabo mediante la aplicación del programa " AUTOCAD " y el programa "SURFER ", este último descrito a continuación: El SURFER; es una herramienta para la creación de gráficos de alta resolución en dos y tres dimensiones y el producto puede ser apreciado directamente en la pantalla o impresa.

A través de menús, el SURFER conduce a través de diversas opciones a la creación de mapas de contorno y mapeo de superficies con datos X Y Z, o sea las coordenadas geográficas en conjunto con los valores de la concentración de los coliformes.

Las diversas combinaciones según el rango de parámetros oceanográficos y el rango de T-90, nos proporcionan las respuestas pertinentes sobre la longitud del emisario, que varía desde 3000m (en condiciones ambientales favorables) hasta 9000m (en condiciones ambientales desfavorables), Fig. 2, 3 y 4.



## **CONCLUSIONES**

Se estima que el saneamiento de la Bahía debía ser efectuado básicamente sin ningún tratamiento a través de un emisario submarino, incluyendo separación de los sólidos. Para tal fin, se deben cumplir con los siguientes requerimientos.

1. Que el emisario debería tener longitud entre 7 y 9 mil metros.
2. Que el difusor del emisario debe ser ubicado a profundidad cerca de 20 metros.

## **ABSTRACT**

To actualize our knowledge on the sanitation of the Bay of Panama, the study on that matter has been recently concluded at the University of Panama. The objective of that study was to define the characteristics of the emissary to comply with the international sanitation standards for recreational water. The scope of the study was estimate the coefficient of initial dilution and the physical dilution, which together with the knowledge of the coefficient of bacterial mortality (T-90), in the sea water, could lead to prediction in space and time of the total dilution. Consequently, enable us to estimate the length of the submarine emissary, necessary to maintain the shores of the bay, free of bacterial pollution. The work was completed applying the computer programme; Plumes and Surfer. In conclusion it is recommended the disposal of the sewage without any treatment except removal of the solids, the total length of the emissary being estimated to be 9000 meters.

## **KEYWORDS**

Bacterial pollution, bacterial mortality (T.90), initial dilution, physical dilution, total dilution, mathematical model Plumes, mathematical model Surfer, submarine emissary.

## **REFERENCIAS**

Brooks, N.H. 1960. Difusion of sewage effluents in an ocean current. Proc. Of. First International Conference on Waste Disposal in the Marine Environment. University of California. 1959. Pergamon Press, New York.

Brooks, N.H. 1983. Dispersion in hidrologic and coastal environments. Environmental Protection Agency. Springfield, Virginia, NTIS 141 p.

D´Croz, L. 1988. Survey and Monitoring of Marine Pollution in the Bay of Panama. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 97. Co-operation for Enviromental Protection in the Pacific. 1988.

González, A.G.; D. Alvarado & C.T. Díaz. 1975. Canal Zone Water Quality Study. Final Report. Water and Laboratory Branchs, Maintenance Division, Panama Canal Company, Canal Zone. Vol.1,2,3.

I.D.A.A.N. 1977. Informe Sobre Sistemas de Tratamientos de Aguas Negras y Rehabilitación del Casco Viejo de la Ciudad de Panamá. Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales, Panamá. Enero 1977.

Kwiecinski, B. 1997. Alternativas del Saneamiento de la Bahía de Panamá. Sociedad Panameña de Ingenieros y Arquitectos. Mesa Redonda. Mayo 1997.

Ludwig, R. 1988. Evaluación del Impacto Ambiental: Ubicación y Diseño de Emisarios Submarinos. Informe No. 43 MARC.

Rawn, A.M.; F.R. Bowerman & N.H. Brooks. 1961. Difusers for disposal of ofsewage in sea water. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 126.

Roberts, P.J.W. 1987. The use of current data in ocean outfall desing. Proceedings of IWAPRC. Marine disposal seminar, Rio de Janeiro, Brazil, August 1966, b.18, No. 11 1966. ISBN 008 035 5811, Pergamon Press.

Salas, H.J. 1983. Programa básico de computo para el diseño de un emisario submarino. CEPIS, Lima Perú.

Salas, H. 1994. Emisarios Submarinos. Enfoque General, Conceptos Básicos de Diseño y Requerimiento de Datos para América Latina y el Caribe. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

### **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece al Dr. Luis D’Croz, por las constructivas sugerencias; al Sr. Juan B. del Rosario, por la valiosa cooperación en la aplicación del programa SURFER, y a la Lic. Edith González, por la cooperación en la edición final del texto y figuras.

*Recibido junio del 2001, aceptado octubre del 2001.*

## ANEXO





