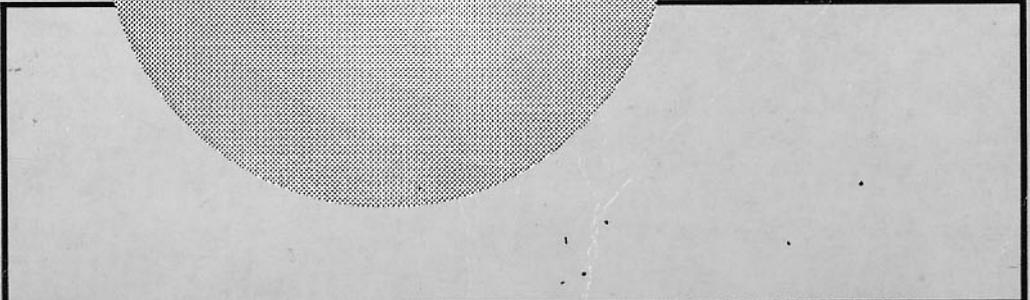
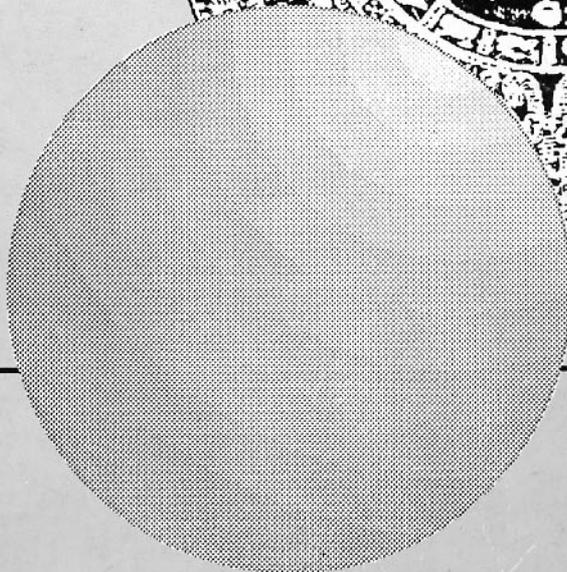
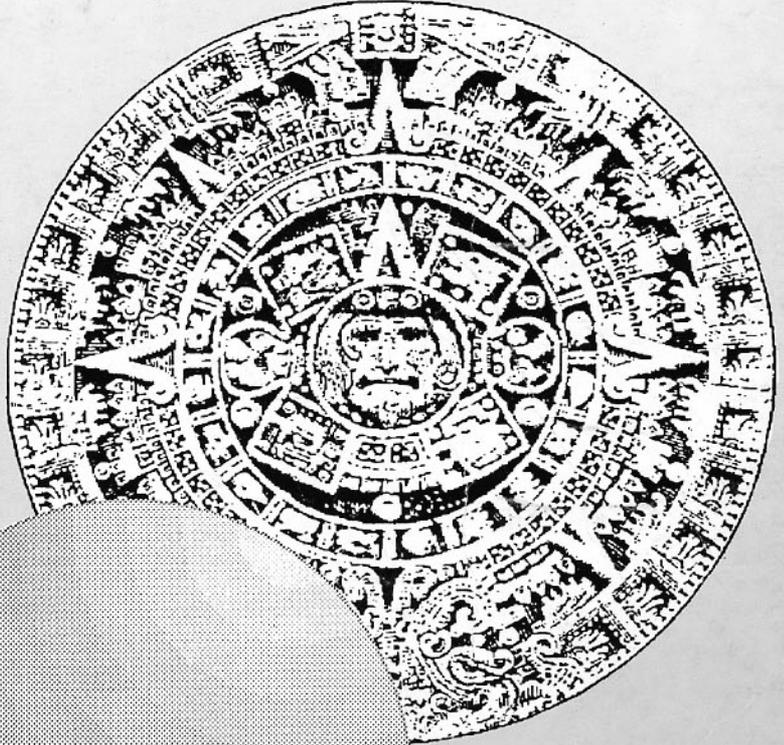


# Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica  
ENERO/JUNIO 1992 VOLUMEN 2 No. 1

620  
In



INGENIERIA  
1992

# INGENIERIA

Revista Semestral de la Universidad de Costa Rica

Volumen 2 Enero-junio 1992 Número 1

## DIRECTOR

Rodolfo Herrera J.

## EDITOR

Victor Herrera C.

## CONSEJO EDITORIAL

Víctor Hugo Chacón P.

Ismael Mazón G.

Domingo Riggioni C.

## CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIONES

Editorial de la Universidad de Costa Rica

Apartado Postal 75

2060 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

## CANJES

Universidad de Costa Rica

Sistemas de Bibliotecas, Documentación e información

Unidad de Selección y Adquisiciones-CANJE

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

### Suscripción anual:

Costa Rica: ₡500,00

Otros países: US \$20,00

### Número suelto:

Costa Rica: ₡250,00

Otros países: US \$10,00



## UN MODELO PARA PREDECIR MEZCLADO EN ESTUARIOS ESTRATIFICADOS

Ing. Luis M. Murillo B., PhD\*

### Resumen

Se presenta un modelo para predecir la dilución de contaminantes en estuarios estratificados que incluye la difusión vertical, la convección residual horizontal y la convección residual vertical. El modelo considera dos capas horizontales y varias ramas laterales que desembocan en una rama principal. Los flujos residuales son predichos a partir del campo de salinidades y las leyes de conservación de masa y salinidad. Se presenta un esquema de cálculo rápido y seguro que reduce las representaciones matriciales de las ecuaciones a su forma tridiagonal y no requiere de subrutinas externas para su funcionamiento. El modelo se prueba con varios casos para los que hay datos de campo.

### Abstract

A numerical model that predicts mixing of pollutants in stratified estuaries is presented. The model includes vertical diffusion, vertical and horizontal residual circulation. The model considers two horizontal layers and several lateral branches. The Basin Equations are used to predict residual circulation. The calculation scheme is based on inversion of tridiagonal matrices and needs no external routines.

### INTRODUCCION

Obras municipales e industriales de las ciudades costeras comúnmente lanzan parcial o totalmente sus desechos al mar. En países industrializados existe regulación estricta sobre el manejo, cantidad, concentración y localización de los puntos de descarga; pues el impacto ambiental de estos desechos puede dañar irreversiblemente los estuarios destruyendo su capacidad productiva y recreativa.

En América Latina existen muchos cuerpos de agua costeros con un alto grado de contaminación y el ingeniero a cargo muy a menudo carece de la información necesaria para estimar el daño debido a la contaminación o medir su impacto y diseñar así el grado de tratamiento requerido. El problema hidrodinámico fundamental es predecir el grado de dilución dadas las características físicas del lugar. En los últimos años, debido al avance, rapidez y eficacia de los métodos numéricos deterministas, los ingenieros costeros y científicos de varios países han comenzado a

usar las computadoras en la predicción de la dispersión en zonas costeras con alto grado de contaminación humana.

Estos métodos deterministas generalmente se basan en la solución numérica de la ecuación de conservación de masa a saber

$$\frac{\partial(\rho C)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho C U + J) = S \quad (1)$$

En esta ecuación  $\rho$  representa la densidad,  $U$  la velocidad,  $C$  la concentración,  $J$  es el transporte difusivo y  $S$  es la fuente o pérdida de la sustancia contaminante. Si introducimos la representación del Reynolds para el campo turbulento mediante los componentes fluctuantes de la velocidad y la concentración, podemos escribir la Ecuación (1) como

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U C) - \nabla \cdot (K \nabla C) = S \quad (2)$$

En donde hemos también usado la hipótesis de Boussinesq, que relaciona los términos fluctuantes turbulentos con los coeficientes de difusión  $K = \{K(x), K(y), K(z)\}$  y los gradientes de concentración. Por su complejidad la anterior

ecuación es difícil de resolver para estuario de varios kilómetros de largo y el ingeniero se ve en la necesidad de introducir simplificaciones. Primero se estudia la versión unidimensional del problema a lo largo del eje principal del estuario (eje x), luego se integra lateralmente (eje y) introduciendo los términos dispersivos (ver por ejemplo McDowell, D.M. y O'Connor B.A.; 1977, Ippen 1966 o Fisher et al 1979). La forma de la ecuación resultante, luego de las integraciones laterales sobre un ancho promedio B es

$$\frac{\partial BC}{\partial t} + \frac{\partial (BUC)}{\partial x} + \frac{\partial (BWC)}{\partial z} - \frac{\partial (BK_x \partial C / \partial x)}{\partial x} - \frac{\partial (BK_z \partial C / \partial z)}{\partial z} = S \quad (3)$$

en donde hemos supuesto el eje x alineado con el eje principal del estuario,  $K(x)$  es el coeficiente de dispersión longitudinal que dependerá de la estructura lateral del flujo particular que se estudie y  $K(z)$  es el coeficiente de difusión vertical efectivo.

Modelos dispersivos basados en las ecuaciones anteriores han sido utilizados antes en Centroamérica. Murillo (1981) usó una versión de la Ecuación (3) para calcular la Distribución de Oxígeno (DO) y de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) despreciando el término difusivo vertical, con fuentes atmosféricas de oxígeno y pérdidas por consumo orgánico. El modelo ambiental se corrió junto con otro modelo hidrodinámico y usando ambos modelos, Murillo (1981) estimó los valores de la dispersión mareal de la DBO en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, dadas ciertas descargas hipotéticas en el puerto de Puntarenas. También, modelos de cajón (Box Models) han sido desarrollados para cuerpos de agua más pequeños como el Estero de Puntarenas en el Golfo de Nicoya (Murillo, 1983). Estos modelos son unidimensionales no aplicables a estuarios fuertemente estratificados.

En estuarios estratificados y parcialmente estratificados la difusión vertical domina sobre la dispersión horizontal debido a la presencia de gradientes verticales mucho más fuertes. Es pues posible predecir el mezclado, en este tipo de estuarios, considerando única-mente los términos convectivos y difusivos verticales y el término para la convección horizontal en la ecuación de conservación (Ecuación 3). La importancia de los gradientes verticales en

estos tipos de estuarios ha sido demostrada anteriormente (Officer et al, 1984). Existen varios modelos que consideran estos gradientes explícitamente por ejemplo: Pritchard, 1969 y Elliot, 1975.

El presente trabajo considera los desarrollos anteriores para crear un modelo bidimensional cinemático de dos capas, aplicable a un estuario de varias ramas simplemente conectadas, usando un esquema rápido para la inversión de las matrices y de características de estabilidad e invertibilidad muy bien conocidas. La formulación en términos de diferencias finitas del modelo acorta el tiempo de cálculo requerido y facilita su uso iterativo para el caso de múltiples ramas que a menudo se encuentran en los estudios de contaminación de la Ingeniería Costera.

En Centroamérica existen cuerpos de agua con estratificación significativa a los cuales se les podría aplicar el modelo desarrollado aquí. Notable es el caso del Golfo Dulce de la Costa Pacífica Sur de Costa Rica, que muestra condiciones anóxicas durante todo el año (Richards et al., 1971). Se han observado también condiciones estratificadas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, durante la estación lluviosa, cuando la circulación gravitacional está plenamente desarrollada (Voorhis et al., 1983). Este modo de circulación, junto con la existencia de un margen continental angosto, permite a las aguas subsuperficiales del Pacífico Ecuatorial penetrar directamente al Golfo de Nicoya (Voorhis et al., 1983).

## DISCUSION DEL MODELO NUMERICO

La ecuación generadora que usamos en este trabajo tiene la forma

$$\frac{\partial (CQ)}{\partial x} + \frac{\partial (QC)}{\partial z} + \frac{\partial (KC)}{\partial z} = S \quad (4)$$

en donde C es la concentración del contaminante, Q es el flujo, K es el coeficiente de intercambio y S es la descarga o pérdida promedio del contaminante. Esta expresión se obtiene de la Ecuación (3) promediada durante los ciclos de marea, para eliminar la dependencia temporal corta. La Ecuación (4) se aplica a los dos niveles, inferior y superior, de cada una de las ramas del estuario en estudio.

El Campo de Velocidades Residuales puede ser calculado por el modelo, usando la ecuación de conservación para la sal y el principio de continuidad. Esto incluiría de hecho el transporte horizontal difusivo enmascarado como transporte horizontal advectivo. Alternativamente, el campo de velocidades residuales puede ser calculado por medios hidrodinámicos o estimarse directamente de las mediciones de campo y luego ser acoplado a la solución de la ecuación (4). Los cálculos de las concentraciones se realizan luego iterativamente para los dos niveles de todas las ramas.

De no haber determinaciones hidrodinámicas, el cómputo de las velocidades residuales horizontales para el nivel superior (u) y para el nivel inferior (l) se realiza usando las Ecuaciones de la Cuenca, deducidas de las ecuaciones de conservación a saber

$$Q_{u,i} = S_{1,i} R_i / (S_{l,i} - S_{u,i}) \quad (5)$$

$$Q_{l,i} = S_{u,i} R_i / (S_{l,i} - S_{u,i}) \quad (6)$$

el flujo convectivo vertical se calcula usando la ecuación de continuidad en el nivel superior y teniendo en cuenta la descarga local de agua dulce (de mucha importancia en los trópicos), entonces

$$Q_{v,i} = Q_{u,i+1} - Q_{u,i} - F_i \quad (7)$$

en donde los subíndices "v" y "u" indican vertical y horizontal superior respectivamente,  $F_i$  representa la descarga neta de agua dulce en la sección i. Los coeficientes de intercambio vertical efectivos se calculan aplicando la ley de conservación de sal.

Puesto que la convección horizontal es considerada explícitamente, el algoritmo de solución es parabólico con las concentraciones río abajo, dependiendo de las concentraciones río arriba. Este hecho fundamental es usado en este trabajo para introducir el esquema de solución tridiagonal interno del modelo, cuyas propiedades de convergencia son ampliamente conocidas (Patankar, 1980). Lo anterior permite eliminar el uso de subrutinas externas complicadas para la inversión de las matrices generadas por las diferencias finitas de la Ecuación (4).

Al igual que en Elliot (1975) en este trabajo la digitalización de la Ecuación (4) se reduce a una expresión algebraica de la forma

$$[A] [C] = [S] \quad (8)$$

es decir, asumiendo que la matriz [A] sea invertible

$$[C] = [A]^{-1} [S] \quad (9)$$

El tipo de matriz A, así obtenido (matriz de bandas), sin embargo, no es generalmente diagonalizable directamente y para varias ramas, no tratadas por Elliot (1975), su inversión requiere de una rutina compleja como Relajación Sucesiva, u otra rutina externa más general. Si embargo, la estructura algebraica de los términos depende del esquema de numeración usado. En este trabajo se modifica el esquema de cálculo y la numeración de tal forma que los cálculos del nivel superior e inferior se lleven a cabo separadamente. Esto permite escribir la matriz en forma diagonal directamente y sin mayor dificultad.

El estuario se digitaliza como se indica en la Figura 1 para todas las secciones. El usuario del modelo deberá determinar la profundidad de la interfase usando los datos de campo de que disponga. En cada sección los flujos se asumen positivos en las direcciones indicadas en la Figura 1.

Para el nivel superior las ecuaciones algebraicas, producto de la aplicación de diferencias finitas a la Ecuación (4) para una rama cualquiera, se pueden escribir como

1	O(1)	.	.	.	.			C(1)		D(1)
A(2)	B(2)	O(2)	.	.	.			C(2)		D(2)
.	A(3)	B(3)	O(3)	.	.			C(3)		D(3)
.	.	A(4)	.	.	.	.		.	=	.
.....										
.	.	.	A(n-1)	B(n-1)	O(n-1)			C(n-1)		D(n-1)
.	.	.	.	A(n)	B(n)			C(n)		D(n)

en donde "A" representa los elementos subdiagonales, "B" los elementos diagonales, "O" los elementos supradiagonales y "D" los coeficientes constantes con los valores dados según

$$O(i) = A_{i,i+1} = 0.0$$

$$A(i) = A_{i,i-1} = Q_{u,i} + 2 \sigma \eta A_{u,i} / \gamma u$$

$$B(i) = A_{i,i} = -Q_{u,i+1} + 2 \sigma (1-\eta) A_{u,i+1} / \gamma u$$

$$D(i) = -R_{i,i} - S_{u,i}$$

$$\Pi = \kappa Q_{v,i+\kappa} v_i$$

$$\sigma = (1-\kappa) Q_{v,i} - \kappa v_i$$

$$\gamma u = A_{u,i} + A_{u,i+1}$$

$$R_{i,i} = 2 \Pi M_{i,i}$$

$$M_{i,i} = C_{i,i} (A_{i,i} / \gamma l) \eta + C_{i,i+1} (A_{i,i+1} / \gamma l) (1-\eta)$$

en donde el índice *i* denota la sección, los índices "u" y "l" indican el nivel superior o inferior respectivamente; además  $\eta$  y  $\chi$  son los factores de peso horizontal y vertical para las concentraciones,  $Q_u$  y  $Q_l$  son los flujos horizontales netos para los niveles superior e inferior,  $C_u$  y  $C_l$  son las concentraciones superior e inferior,  $S_u$  y  $S_l$  son las descargas o pérdidas de contaminante en el nivel superior (subíndice u) o inferior (subíndice l),  $A_u$  y  $A_l$  son las áreas transversales superior e inferior de la sección. Los coeficientes de intercambio vertical  $K_{vi}$  se calculan digitalizando la Ecuación 4 en diferencias finitas para la concentración de sal y resolviendo la ecuación algebraica resultante para valores conocidos de la salinidad y los flujos residuales.

Similarmente para el nivel inferior la digitalización conduce a las siguientes ecuaciones algebraicas

B(1)	O(1)	·	·	·	·	·	C(1)	D(1)
A(2)	B(2)	O(2)	·	·	·	·	C(2)	D(2)
·	A(3)	B(3)	O(3)	·	·	·	C(3)	D(3)
.....							·	·
.....							·	·
·	·	·	A(n-1)	B(n-1)	O(n-1)	·	C(n-1)	D(n-1)
·	·	·	·	A(n)	B(n)	·	C(n)	D(n)

en donde

$$A(i) = A_{i,i-1} = 0.0,$$

$$B(i) = A_{i,i} = +Q_{l,i} + 2 \Pi \eta A_{l,i} / \gamma l$$

$$O(i) = A_{i,i} = -Q_{l,i+1} + 2 \Pi (1-\eta) A_{l,i+1} / \gamma l$$

$$D(i) = -R_{u,i} + S_{l,i}, \quad \gamma l = A_{l,i} + A_{l,i+1},$$

$$R_{u,i} = 2 \sigma M_{u,i} \quad y$$

$$M_{u,i} = C_{u,i} (A_{u,i} / \gamma u) \eta +$$

$$C_{u,i+1} (A_{u,i+1} / \gamma u) (1-\eta)$$

En la primera y última ecuación algebraica de cada rama se introducen las condiciones de frontera. Así pues, en el esquema de cálculo iterativo que usa el modelo, el primer valor del nivel superior de la rama que se calcula, se toma como igual al próximo valor de la rama principal calculada de último. Esto se logra haciendo el correspondiente elemento matricial B(i) igual a uno, y los valores de los elementos A(i) y O(i) iguales a cero. La concentración es entonces introducida mediante el término D(i). El mismo procedimiento se aplica al nivel inferior de todas las ramas, sólo que en este caso, como el modelo calcula los niveles separadamente, se requiere de un cambio de índice. Así por ejemplo, cuando el primer valor del nivel superior está dado, pero el valor inferior al final es asumido, los cálculos del nivel superior usan los coeficientes "A" y "B", mientras que los cálculos del nivel inferior usan los coeficientes "B" y "O", con "B" que contiene las constantes de índice "i" mientras que "O" contiene las constantes calculadas para el índice "i+1".

La matriz es construida entonces usando los coeficientes de cada sección y es invertida de una vez para todas las ramas simultáneamente. De forma alternativa se podría resolver cada rama por separado e iterar las concentraciones hasta que sus valores converjan en todos los nodos de todas las ramas. El modelo usa el primer procedimiento pero fácilmente se puede alterar para ejecutar el segundo. Cuando el número de secciones por ramas es pequeño ( $\approx 30$ ) probablemente el primer procedimiento sea más apropiado, pues, es de suponer que las iteraciones consumirían más tiempo del procesador central de la computadora. Como se hizo necesaria la

introducción de valores falsos (dummy variables) para cada frontera, la salida del modelo contiene concentraciones repetidas conocidas. Estos valores repetidos separan a una rama de la próxima y pueden ser distinguidos por ser constantes. La impresión de los resultados es secuencial para cada nivel, iniciándose en la concentración del nivel superior de la rama principal y continuando con todas las otras ramas.

### CASOS DE PRUEBA

Las corridas experimentales se hicieron todas con el computador PRIME 750 del Centro de Cómputo de la Universidad de Rhode Island y contó con la cooperación del Colegio de Ingenierías de dicha universidad. Una corrida típica se realiza en menos de 15 segundos (tiempo del procesador central CPU) en el PRIME 750. Los datos sobre la distribución de salinidades en la Bahía de Narragansett fueron facilitados por el "Center for Ocean Management Studies" (Centro de Estudios para la Administración de Recursos Marinos) de la Universidad de Rhode Island, así como por la compañía de Ingeniería "Applied Science Associates", de Narragansett, Rhode Island.

Con el fin de verificar el modelo, este se aplicó a varios casos de contaminación costera de interés. Debido a que las larvas de los peces y sus huevos generalmente se mueven a la deriva en las ricas zonas productivas costeras semicerradas, tal y como lo hacen los contaminantes pasivos, se considera que, de obtenerse resultados positivos, estas predicciones de prueba podrían ser de utilidad en los estudios de poblaciones de peces.

### EL CASO DEL RIO POTOMAC, WASHINGTON, E.U.

Con el fin de verificar el núcleo operativo del algoritmo central del modelo, se tomó como corrida inicial el caso presentado por Elliot (1975) del Estuario del Río Potomac en el Estado de Washington D.C., de los Estados Unidos. Para este experimento se asume una descarga unitaria de contaminante pasivo de 1 g/s en la parte superior de la segunda sección de la partición (Figura 2). Las condiciones de frontera usadas fueron iguales a 0.64 ppb para el nivel superior de la primera sección y 0.00 ppb para el nivel inferior de la última sección del estuario localizada en su boca.

Los resultados de estos cálculos se presentan en el Cuadro No. 1. Como se puede notar en el Cuadro No. 1, las concentraciones calculadas por el modelo desarrollado aquí, generalmente concuerdan con los resultados presentados por Elliot (1975). En la sección No. 8 hay una diferencia de 13% en los cálculos, mientras que en las demás secciones las diferencias no son significativas.

Una segunda prueba de consistencia interna se llevó a cabo recalculando el campo de salinidades que inicialmente se asume como conocido y se introduce en el modelo a partir de los resultados obtenidos en las mediciones de campo. El acuerdo en esta segunda prueba, entre lo predicho por el modelo y lo medido, fue del cien por ciento. Se presume entonces, que la diferencia en la sección No. 8, mencionada en el párrafo anterior, se originó en la diferencia de los esquemas de cálculo.

### Predicciones para la Desembocadura del Río Potomac, Cuadro No. 1

(Concentraciones en partes por billon ppb)

Sección Superior	Elliot (1975)		Este estudio	
	Nivel Inferior	Nivel Superior	Nivel Inferior	Nivel Superior
1	0.640	0.663	0.640	0.663
2	1.57	1.68	1.57	1.68
3	1.98	1.91	1.98	01.9
4	1.71	1.59	1.70	1.57
5	1.04	0.977	1.02	0.95
6	0.784	0.760	0.753	0.72
7	0.471	0.44	0.434	0.402
8	0.306	0.281	0.265	0.24
9	0.121	0.0	0.121	.000

### EL CASO DE LA BAHIA DE NARRAGANSETT

Una segmentación simple se usó en la aplicación del modelo a la Bahía de Narragansett, Rhode Island, E.U. En esta aplicación se usaron dos ramas (Figura 3) inicialmente. La bahía se dividió en dos niveles horizontales con la interfase a media profundidad. Los datos de salinidad fueron

tomados de Hess (1974) e interpolados linealmente. A ambos niveles se les asignó la salinidad anual media del fondo y la superficie. Las salinidades medias se calcularon según

$$\bar{S} = \frac{\int S(A) dA}{\int dA} \quad (7)$$

en donde los diferenciales de área  $dA$  se calculan de acuerdo a

$$dA = \frac{dV}{V} B \quad (8)$$

en donde "dA" representa el diferencial de área transversal de la sección entre las profundidades  $j$  y  $j+1$ ,  $dV$  representa el volumen entre las mismas profundidades y  $B$  el ancho promedio de la sección. Los datos morfológicos de la Bahía de Narragansett fueron tomados de Chinmann y Nixon (1985) y de las cartas náuticas del lugar. Los cálculos fueron hechos asumiendo una concentración conocida e igual a 0.64 ppb en el nivel superior de la primera sección, en la cabeza del estuario y cero en el nivel inferior en la última sección, en la boca del estuario. Los resultados de estos cálculos se muestran en el Cuadro No. 2. Los valores de los flujos anuales de agua dulce debidos a los ríos Pawtuxet y Blackstone se tomaron de Hess (1974).

### Predicciones para la Bahía de Narragansett, Rhode Island, U.S.A.

#### **Cuadro No. 2**

(Concentraciones en partes por billón, ppb)

Sección		
Rama Principal	Nivel Superior	Nivel Inferior
1	0.64	0.216
2	0.119	0.114
3	0.199	0.131
4	0.061	0.026
5	0.006	0.000
Rama Lateral	Nivel Superior	Nivel Inferior
1	0.199	0.131
2	1.62	1.65
3	0.119	0.000

Como se nota en el Cuadro No.2, las concentraciones en la Bahía de Narragansett generalmente decrecen hacia la boca del estuario y son siempre menores en la parte inferior de cada sección. Una mejora considerable en los resultados obtenidos es posible introduciendo un campo de salinidades más detallado vertical y horizontalmente; sin embargo este tipo de datos no fue accesible al autor. De contarse con este tipo de información, la localización de la interfase así como los campos de flujo residuales podrían ser estimados con mayor exactitud.

El comportamiento de las concentraciones en las partes inferior y superior no es tan claro como en el caso del Río Potomac pero, generalmente, las concentraciones son mayores en la región interior. De nuevo, de contarse con mejor información sobre el campo de salinidades se podría correr el modelo con una partición más fina y mejorar así la precisión de las predicciones numéricas.

Con este fin se corrió un segundo experimento en la Bahía de Narragansett. En este segundo experimento se usó una interfase localizada a 5 metros de profundidad, se incrementó el número de secciones principales a siete y se aumentó el número de secciones de la rama lateral a 4 (Figura 4). Donde fuera necesario los datos de la salinidad se interpolaron a partir de los valores dados por Hess (1974). Debido a que la información morfológica que se usó en este estudio (Chinman y Nixon, 1985) no incluyó los valores aplicables a las primeras dos secciones de la rama lateral, fue necesario interpolar geográficamente los valores presentes. Esto se logró dividiendo la información conocida, tal y como se presenta en la Figura 3, en segmentos cuyo grosor medio se determinó a partir de las cartas náuticas. Así se logró crear la Figura 4. Como condiciones de frontera para las concentraciones se usaron los siguientes valores. Para el primer segmento del nivel superior la concentración asumida fue de  $C = 1.0$  ppb, para el último segmento del nivel inferior se asumió una concentración de cero ppb correspondiendo con el agua marina pura, penetrando de mar afuera hacia el interior del estuario. Los cálculos convergieron rápidamente,

luego de la iteración número 200. Los resultados de este experimento numérico se muestran en el Cuadro No. 3. Como se nota en el Cuadro No. 3 las concentraciones decrecen gradualmente hacia la boca del estuario en la rama principal pero muestran un decrecimiento rápido en la rama lateral.

**CONCLUSIONES**

Se presenta y prueba un modelo de mezclado para estuarios estratificados de interés para la ingeniería. El modelo predice circulación residual, difusión vertical y convección vertical y horizontal. El modelo puede ser usado en estuarios centroamericanos estratificados con alto grado de contaminación para predecir distribuciones de contaminantes resultantes de las descargas municipales, diseños alternativos de difusores y su localización. El modelo produce valores para los flujos residuales, velocidades medias, coeficientes de dispersión y capacidad de mezclado de estuarios tropicales con descargas significativas de agua dulce. El modelo puede también predecir parámetros de interés pesquero como distribuciones de larvas y huevos de peces.

**Predicciones para la Bahía de Narragansett,  
Rhode Island, U.S.A.**

**Cuadro No. 3**

(Concentraciones en partes por billón, ppb)

Sección		Concentración	
Rama Principal	Nivel Superior	Nivel Superior	Nivel Superior
1	1.00	0.228	
2	0.891	0.357	
3	0.475	0.185	
4	0.249	0.083	
5	0.152	0.059	
6	0.182	0.066	
7	0.118	0.046	
8	0.018	0.000	
Rama Lateral	Nivel Superior	Nivel Inferior	
1	0.152	0.059	
2	0.766	0.025	
3	0.000	0.000	
4	0.000	0.000	

**BIBLIOGRAFIA**

Elliot, A.J., 1975: "Douglas Point, A Study of Circulation and Mixing". Special Report 43, Chesapeake Bay Institute. John Hopkins University, 57 p.

Epifanio, C.E., Maurer D., Dittel A.I., 1983: "Seasonal Changes in nutrients and dissolved oxygen in the Gulf of Nicoya, a tropical estuary on the Pacific coast of Central America". Hydrobiologia 101, p. 231-238.

Ippen A.H, 1966: "Estuary and Coastal Hydrodynamics", McGraw-Hill, New York, 744 p.

Fischer, H.B., Imberger J., List, E.J, Koh, R.C., Brooks N.H, 1979: "Mixing in Inland and Coastal Waters". Academic Press, New York, 479 p.

McDowell, D.M. and O'Connor, B.A., 1977: "Hydraulic Behaviour of Estuaries". John Wiley and Sons, New York, 292 p.

Officer, C.B., Biggs R.B., Taft, J.L., Cronin L.E., Tyler, M.A., Boynton, W.R., 1984: "Chesapeake Bay Anoxia: Origine, Development, and Significance". Science, Vol. 223 No. 4631, January, 22-26.

Pritchard, D.W., 1969: "Dispersion and flushing of pollutants in estuaries". J. Hydraul. Div. ASCE, January

Patankar, S.V., 1980: "Numerical Heat Transfere and Flow". McGraw Hill, New York, p. 200.

Richards, F. A., Anderson, J.J. & Cline, J.D., 1971: "Chemical and physical observations in Golfo Dulce, an anoxic basin on the Pacific coast of Costa Rica". Limnol. Oceanogr. 16, 43-50.

Voorhis, A.D; Epifanio C.E., Maurer D., Dittel A.I., Vargas J.A.; 1983: "The Estuarine character of the Gulf of Nicoya, an embayment on the Pacific Coast of Central America". Hydrobiología 99, 225-237.

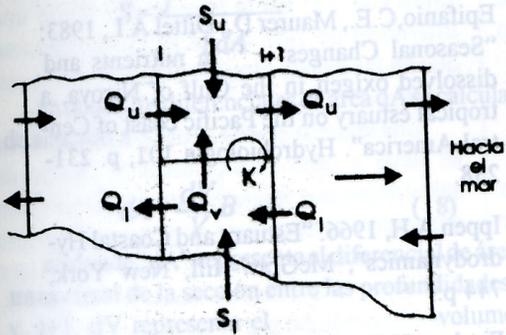


Figura No.1 Flujos considerados

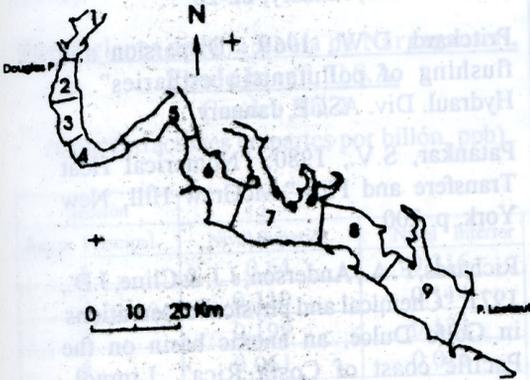


Figura No. 2 Estuario del Río Potomac, E.U.

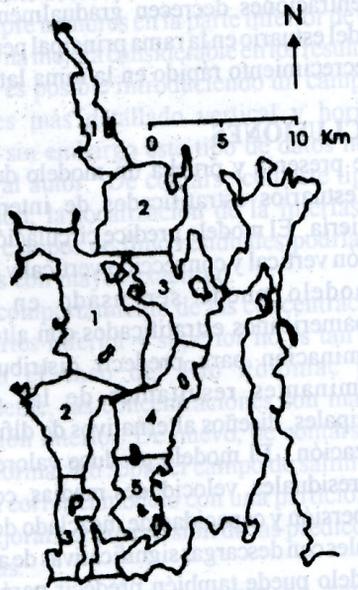


Figura No.3 La bahía de Narragansett, R.I.

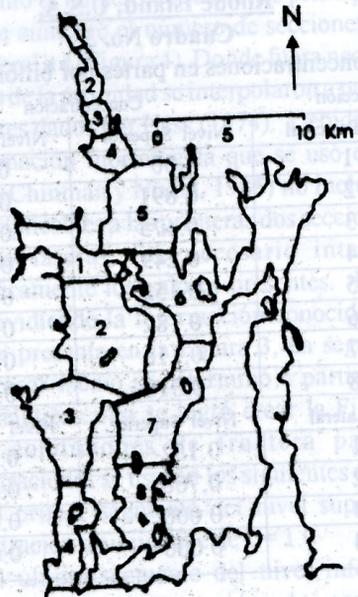


Figura No.4 La bahía de Narragansett, R.I.