

## *Simulación del transporte dispersivo con decaimiento: futuro emisario submarino de Mar del Plata.*

*Federico I. ISLA \* y Aníbal CASSANELLI +*

*\* CONICET-UNMDP, Centro de Geología de Costas y del Cuaternario.  
C.C. 722, 7600 Mar del Plata, República Argentina. (fisla@mdp.edu.ar)*

*+ CONICET-UNMDP, Facultad de Ingeniería. Av. J. B. Justo y Ratero,  
7600 Mar del Plata, República Argentina. (acassane@fi.mdp.edu.ar )*

**Resumen.** Utilizando rangos y retardos de las alturas de la marea, y simulando la velocidad de las corrientes de marea medidas, se modeló la dispersión de una pluma cloacal aflorante sobre un largo de costa de 30 km (Mar del Plata-Mar de Cobo) y a una profundidad de 10 m (3 km de la costa). Los caudales considerados son los promedios y máximos extrapolados al año 2025; la concentración de coliformes de la pluma se supuso similar a la concentración máxima actual ( $10^9$  coliformes totales en 100 ml). Se modelaron además los efectos inducidos por el viento (olas y vientos locales) a través del programa de simulación bidimensional especializado para mareas *AQUASEA*.

De acuerdo a los T90 seleccionados en base a experiencias controladas, un emisario submarino de 3 km sería capaz de dispersar la pluma durante las horas del día sin que la concentración de coliformes pueda alterar las condiciones de balneabilidad. Esto no sucedería durante las horas de la noche. En condiciones intermedias, las condiciones de balneabilidad se mantendrían con T90 de 3 horas, pero se comprometerían las playas del sur si el T90 fuera de 5 horas. El mayor peligro para las condiciones de balneabilidad sería durante las primeras horas de la mañana de días nublados. De todos modos, las condiciones de dispersión inducidas por olas generadas "offshore" se reconocieron como muy significativas aunque escaparon a las posibilidades de simulación de los modelos.

Para simular el transporte dispersivo de un contaminante con decaimiento es necesario utilizar tres aproximaciones al problema:

1. el efecto de la dilución inicial (campo cercano) de la pluma en relación con las aguas de la cuenca receptora,
2. el efecto de la dispersión en el campo lejano, y
3. el decaimiento del contaminante respecto a las aguas del ambiente.

Para simular un emisario cloacal submarino, es necesario conocer el comportamiento de la pluma respecto a la dinámica del cuerpo receptor (flotación y/o la posible estratificación de las masas de agua). Con el objeto de simular el comportamiento del futuro emisario submarino, dos modelos fueron utilizados: el modelo RSB para aguas estratificadas, y el modelo UM para plumas emergentes. Estos programas permiten analizar los patrones de construcción de la cañería: longitud, longitud con difusores, número de difusores, espaciamiento entre difusores, diámetro de los orificios de salida de los difusores, su altura respecto del emisario, y el ángulo de la tubería respecto a las corrientes dominantes. Las condiciones de operabilidad fueron calculadas para el caudal promedio de vertido extrapolado al año 2025 ( $4,8 \text{ m}^3/\text{seg}$ ) y concentraciones de coliformes semejantes a las actuales (de la pluma y de las aguas adyacentes de la plataforma cercana a Camet). Los análisis consideraron velocidades de corrientes, temperaturas y salinidades semejantes a las medidas en 1996.

De 8 de las 10 situaciones consideradas, las condiciones de balneabilidad se lograrían a 2 km del extremo del emisario; en las dos remanentes las condiciones se lograrían a los 2,5 km. De acuerdo a estas simulaciones, un emisario cloacal de 3 km mantendría las condiciones de balneabilidad en la zona. El coeficiente de decaimiento (T90) y la concentración ambiental de coliformes totales son los factores más sensibles en cuanto a la aplicabilidad de estos dos modelos.

**Palabras clave:** Transporte dispersivo, Decaimiento contaminante, Simulación, Emisario submarino, Mar del Plata.

**Key words:** Dispersive transport, Pollutant decayment, Simulation, Sewage outfall, Mar del Plata.

## EXTENDED ABSTRACT

Knowing the tidal delay along the 35 km between Mar del Plata and Mar Chiquita, the velocity of tidal currents (measured at 10 m depth, approximately 3 km distant from the coast) were modelled and the dispersion of a merging sewage outfall was simulated. The mean and maximum discharges of the sewage disposal were considered for the conditions of the year 2025. The total coliform concentration of the plume were assumed to be as high as today ( $10^9$  total coliforms in 100 ml).

To simulate the dispersive transport of a decaying pollutant, it is necessary to apply three approximations to the problem:

1. the effect of the initial dilution (in the near field) of the polluting jet into the environmental waters,
2. the effect of the dispersion in the far field, and
3. the decayment of the pollutant in relation to the pollution degree of the environment.

In the simulation of a sewage disposal system, we need to know the behaviour of the plume in the water (flotation and/or the possibility of the stratification of the plume within the water body)

In order to simulate the behaviour of the future sewage outfall of Mar del Plata city, two hydraulic models were used: RSB is recommended for stratified waters, and UM for merging plumes. These programs permit to analyze several construction parameters of the pipeline as length with diffusers, number of diffusers, spacing between diffusers, port diameters, port elevation over the pipe, and angle between the pipeline and the dominant currents.

In eight of the ten scenarios considered, the bathing conditions were obtained 2 km away from the outlet of the diffusers; in the remaining two, the bathing conditions were arrived at 2.5 km from the outlet. In regard to these simulations, a submarine outfall of 3 km would fulfill bathing requirements. The decayment coefficient and the environmental concentration of coliform bacteria in the water are the more important factors to deal with in these models.

On the other hand, the effects induced in the far field by the tidal currents, winds (local winds and waves) and Coriolis force were modelled by a special computer program developed for the bidimensional simulation of tide-dominated shelves (*AQUASEA*).

In regard to the bacteria-decayment rates chosen ( $T_{90}$ , or time lag for the dye-off of 90% of the coliform bacteria in water) based on controlled experiments, a sewage outfall of 3 km length would be able to dilute the plume during the sunlight hours, without altering the bathing conditions at the neighbouring beaches. This would not happen during the night hours. During intermediate conditions (low sunlight), bathing conditions would remain with a  $T_{90}$  of 3 hours, but the beaches to the south of the sewage disposal would be at risk if the  $T_{90}$  lasts 5 hours. A high-bathing risk would remain during the setup hours of a cloudy morning.

Anyway, the open-ocean wave-diluting effects were not possible to be modelled although waves were probed to be a high dispersion agent at the Mar del Plata inner continental shelf.

## INTRODUCCIÓN

“El presente es la clave del pasado”, pero debemos prever los problemas geológicos del futuro. La simulación (en el sentido de imitar la apariencia de algo sin representarla en realidad) de los procesos se remonta a los años cuarenta, cuando Von Neumann aplicara los análisis de Monte Carlo para resolver los problemas de acorazamiento de reactores nucleares (Harbaugh & Bonham-Carter, 1970). Ya a fines de los sesenta, tenemos las primeras aplicaciones a procesos geológicos costeros a través de un modelo de depositación de un delta (Bonham-Carter & Sutherland, 1968; Harbaugh & Bonham-Carter, 1970).

La planificación de emisarios submarinos ha adoptado recientemente la más aproximada o precisa simulación de:

- 1) el comportamiento y flujo de un líquido de diferente densidad que las aguas del ambiente,
- 2) el transporte y dispersión (bidimensional) de una pluma,
- 3) el decaimiento de un contaminante no conservativo, o  $T_{90}$  (tiempo que tarda en decaer el 90% de la concentración), y
- 4) las variables de diseño del emisario (profundidad, diámetro de la cañería, longitud de la cañería con difusores, características y área de flujo de los difusores).

El presente trabajo constituye una aproximación al comportamiento que tendrá la descarga del emisario cloacal submarino en la plataforma de Camet (Gral. Pueyrredón; Fig. 1), para diferentes condiciones de mareas, corrientes costeras, vientos y luminosidad (causa principal del decaimiento de bacterias coliformes). La simulación comprende el análisis de las condiciones de balneabilidad (calidad sanitaria de las aguas de recreación) para el crecimiento urbano de Mar del Plata para el año 2025. En 1990 la ciudad de Mar del Plata tenía 600.000 habitantes estables, pero alcanza 1.200.000 habitantes durante los meses turísticos (enero, febrero). Los trabajos implicaron la realización de algunos estudios como batimetría, sísmica poco profunda, granulometría del fondo, vientos, corrientes, concentraciones de bacterias coliformes y de organismos planctónicos, y sedimentos en suspensión. Finalmente, la simulación consistió en el comportamiento de la pluma en la columna de agua, y su distribución superficial (2D) en la plataforma.

El sistema cloacal de Mar del Plata es combinado en el sentido que los caudales se incrementan significativamente en ocasión de lluvias. En estos sistemas combinados estos aumentos de caudal conllevan una dilución de las concentraciones de coliformes (National Research Council, 1993; Moffa, 1996). A efecto de estu-

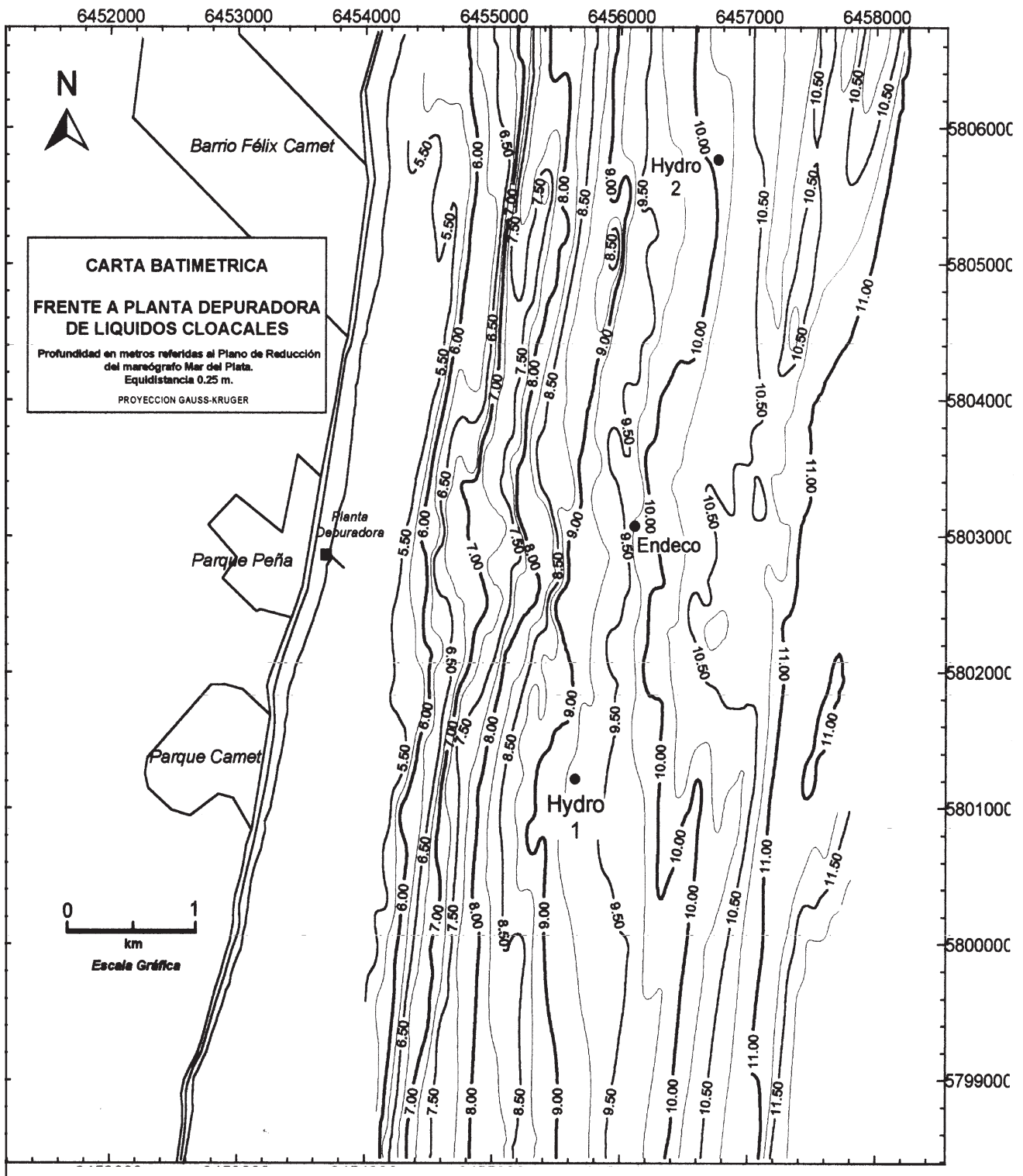


Figura 1. Ubicación de la planta depuradora de Camet y batimetría del sector de costa (modificado de Isla et al., 1996).  
 Figure 1. Location of the sewage plant of Camet and bathymetry of the coastal areas (modified from Isla et al., 1996).

diar las condiciones y capacidad depuradora del cuerpo receptor de esta descarga cloacal se formalizó un convenio entre Obras Sanitarias Sociedad de Estado y la Uni-

versidad Nacional de Mar del Plata. Algunas de las conclusiones del informe original se han volcado en este trabajo.

## ANTECEDENTES

En 1980 se propuso construir un emisario cloacal para la ciudad de Mar del Plata con las siguientes características:

1. Longitud de 1500 m (7-8 m de profundidad) con difusores en los últimos 500 m.

2. El modo de construcción sería en trincheras durante los primeros 300-400 (hasta alcanzar los 4 m de profundidad) y luego sobre pilotes o trípodes, o todo sobre pilotes (Ulibarrena, 1980).

Entre 1983 y 1984 se realizó un estudio que llegó a las siguientes conclusiones:

1. La calidad del agua del cuerpo receptor no presentaba signos de impacto ambiental.

2. La calidad bacteriológica de las aguas costeras estaba influenciada por las descargas existentes (cloacales, pluviales, legalizadas y clandestinas).

3. La masa de agua costera era homogénea, estratificándose sólo en verano.

4. La escasa profundidad así como la falta de estratificación garantizaban el afloramiento de los líquidos cloacales.

5. Las mareas mixtas poseen comportamientos casi diurnos a casi semidiurnos durante el mes.

6. La marea creciente se dirige al NNE (5-10 cm/seg) y la bajante al SSO (10-20 cm/seg). Durante comportamientos diurnos, la inversión de las corrientes se produce cada 12-14 horas; durante comportamientos semidiurnos, cada 6-8 horas.

7. Las corrientes superficiales están afectadas por el oleaje. Durante el verano, el 58% de las corrientes están dirigidas hacia el mar, aumentando durante el invierno (62%). Las corrientes superficiales hacia la costa alcanzan valores superiores a 12 cm/seg en verano y 9 cm/seg en invierno.

8. La tasa de decaimiento recomendada (T90) es de 1,5 horas para el verano, y 2 horas para el invierno.

9. La construcción de un emisario submarino resulta compatible con los requerimientos de calidad de agua. A este efecto se proponía: a) que el emisario tenga más de 3000 m, 600 m con difusores de 8 cm de diámetro dispuestos cada 2 m a ambos lados; b) que su orientación sea perpendicular a la costa a fin de aprovechar la capacidad de dilución de las corrientes de marea; c) que se realice un pretratamiento de separación del material flotable; d) que se implemente un sistema que impida vertidos tóxicos y controle grasas, aceites e hidrocarburos (INCYTH, 1983 a y b, y 1984).

Las recomendaciones incluían estudios complementarios (selección del método de pretratamiento, suelos, fundaciones, dinámica sedimentaria, corrientes de mareas y oleaje, decaimiento bacteriano, y de alternativas de modificación del sistema cloacal), y acciones que pudieran mejorar el funcionamiento del sistema cloacal de aquellos días (control de efluentes industriales, eliminación de conexiones clandestinas en pluviales, y monitoreo de la calidad de las aguas costeras). Ya en este estudio se dejaba claro que:

1. Los mares son deficientes en nutrientes como los que

aportan los efluentes domésticos.

2. El medio marino es tóxico para la mayoría de los microorganismos no marinos e inhibe su supervivencia (decaimiento).

3. No existen evidencias de que el tratamiento secundario provoque algún beneficio en el medio.

4. No tiene sentido gastar grandes sumas de dinero en la depuración de efluentes domésticos cuando éstos pueden ser una fuente de alimentación de la fauna marina; claro está, que estos vertidos sean controlables y no resulten perjudiciales (tóxicos, patológicos, antiestéticos).

Con posterioridad a este estudio se construyó la planta de pretratamiento que actualmente realiza un tamizado y aireación del líquido cloacal. Este pretratamiento hoy no alcanza. Las denuncias por olores y contaminación de las aguas de baño han obligado a analizar la situación del cuerpo receptor de la descarga y la viabilidad de un emisario como solución.

Una aproximación al costo de un emisario se puede establecer de acuerdo al diámetro del mismo. Emisarios de 2,5 m de diámetro cuestan alrededor de 6000 U\$S/m en condiciones normales; de 1,5 m, 4000 U\$S/m, y de 1 m de diámetro, 3000 U\$S/m (Bartone y Salas 1985). Lógicamente en condiciones de mares enérgicos, los últimos 1000 m son los más costosos.

## MÉTODOS

A efecto de conocer la magnitud y dirección de las corrientes de marea en la región se fonaron 3 correntógrafos durante unos 30 días a unos 11 m de profundidad (Tabla 1). Los perfiles de velocidad se midieron por medio de un correntómetro ENDECO. Las concentraciones de coliformes totales se determinaron tanto en el efluente como la concentración ambiental (en sectores donde se suponía que la pluma actual ni los pluviales tuvieran influencia). Las posiciones se obtuvieron con GPS. Los caudales simulados fueron propuestos para valores máximos actuales (3,5 m<sup>3</sup>/seg según estadísticas de OSSE) como los de operabilidad prevista para el año 2025 (4,8 m<sup>3</sup>/seg).

Los trabajos de campo contemplaron la medición de gran cantidad de variables (ver Isla et al., 1998). Los equipos utilizados así como sus sensibilidades y rangos de medición se consignaron en la tabla 1. Originalmente se pretendió utilizar los registros de los tres correntógrafos fondeados a 3 km. frente al efluente (Fig. 1). Sin embargo, el modelo para ese sector de detalle no lograba representar el comportamiento de la pluma de un emisario de 3 km. y, de este modo, el modelo se hacía muy dependiente de las condiciones de contorno. Las condiciones de fondo son de arenas finas conformando mantos y "sand ribbons" a mayores profundidades (Isla y Aliotta, 1999).

Debido a los resultados previos, se optó por utilizar un área mayor, de 20 x 10 km. La grilla fue de 30 x 30 segundos,

*Simulación del transporte dispersivo con decaimiento: futuro emisario submarino de Mar del Plata.*

<b>EQUIPO</b>	<b>MARCA - MODELO</b>	<b>RANGO</b>	<b>PRECISIÓN</b>	<b>CALIBRACIÓN</b>
Correntógrafo	Endeco 105	v = 0-3.5 knt	+/- 3UPS	SHN
		Az = 0-360°	+/- 1°	
Correntógrafo	Hydroproducts	v = 0,05-5 knt		SHN
		Az = 0-360°		
Correntómetro	Endeco 110	v = 0-257 cm/seg	+/- 3%	manual
		Az = 0-360°	+/- 3%	manual
		z = 0-30 m	+/- 2%	
		T= 0-40°C	+/- 0,5°C	
Calidad del agua	Horiba U10	pH = 0-14pH	0,01 ph expand.	2 puntos
		cond. = 0-1 mS/cm	0,001 mS/cm	2 puntos
		1-10mS/cm	0,01 mS/cm	
		10-100 mS/cm	0,1 mS/cm	
		Sal = 0-4 UPS	0,01UPS	2 puntos
		Turb. = 0-800 NTU	1 NTU	autocal.
		DO = 0-19,9 mg/l	0,01 mg/l	método químico
	T = 0-50°C	0,1°C	-	
Estación meteorológica	Davis WM II	T = -45/60°C	0,5°C	fábrica
		W = 0-78,2 m/seg	+/- 5%	
		Az = 0-360°	+/- 7%	
		p. at. = 880,0-1080mb	+/- 1,7 mb	
		Húmedad = 10-90%	+/- 5%	
		tiempo	+/- 15 seg/mes	
	sens. térm = -92/60°C	+/- 2°C		
Posicionador GPS	Trimble	Lat = 0-90°	25 m s/ manual	fábrica
		Long = 0-180°	0,01'	resp. 0,1 m/seg
Posicionador GPS	Raytheon	Lat = 0-90°	0,1'	
		Long = 0-180°		
Equipo de tamizado	Ro Tap-Cosacov	D = 8-0,062 mm	0,5 unidades phi	fábrica

**Tabla 1. Descripción de equipos, modelos, rangos, precisiones y calibraciones.**  
**Table 1. Equipment description, models, ranks, accuracy and calibration.**

con mayor densidad en la zona próxima al extremo de un eventual emisario de 3 km. de largo; la escala transversal a la costa se ha exagerado a efecto de reconocer los patrones en

los diseños de la dilución (Fig. 1). Se modeló la dinámica superficial (fundamentalmente la causada por corrientes de marea) entre Mar Chiquita y Mar del Plata utilizando los re-

gistros simultáneos medidos en 1970 (Servicio de Hidrografía Naval, 1970). En base a los registros de un mareómetro (Mar de Cobo) relacionado al mareógrafo del Club de Pesca (Mar del Plata) se estableció un retardo de aproximadamente 20 minutos. Los datos de corrientes medidos sirvieron para contrastar las simulaciones de corrientes (dirección y velocidad) inducidas por mareas.

### SIMULACIÓN DE LA DISPERSIÓN VERTICAL (RSB Y UM)

La decisión de la EPA de Estados Unidos de aceptar efluentes con tratamientos inferiores a secundario obligó a establecer un cuidadoso marco regulatorio. En este sentido se elaboraron los modelos RSB (Roberts, Snyder y Baumgartner) y UM (Muellenhoff mejorado) que trabajan a estado constante, es decir que no aceptan ninguna variación temporal de las variables (Baumgartner et al., 1983). Ambas simulaciones, englobadas en el programa PLUMES consideran un cálculo de la dilución inicial y luego una estimación de la dispersión en el campo lejano. Estas aproximaciones resultan inmejorables para predecir la calidad sanitaria de las aguas de baño y vienen a reemplazar las fórmulas clásicas de Rawn y Palmer, Conway, Brooks y Pomeroy (ver Muñoz Hernández 1990). Su aplicación requiere que los cálculos de dilución inicial efectiva tanto del efluente como del agua ambiental se aproximen al "peor escenario".

La dilución inicial es la dilución de una pluma de descarga debido al efecto combinado del momento y flotación del fluido descargado, y de la mezcla turbulenta del ambiente en las vecindades de la pluma (Fig. 1). El ritmo de dilución es relativamente rápido en los primeros minutos y decrece marcadamente luego que se disipa el momento y la flotación. Las corrientes del ambiente influyen en el ritmo de dilución con independencia del momento y flotación del jet. De todos modos, distintos modelos aproximan de diferente manera los efectos de las corrientes (lineal, exponencial).

#### El modelo RSB (Roberts, Snyder y Baumgartner)

El modelo RSB de simulación de efluentes está basado en estudios experimentales del efecto de múltiples difusores en corrientes estratificadas (Roberts et al., 1989). Este modelo idealiza un caño recto, horizontal descargando por difusores de sección circular uniformemente espaciados. La descarga se produce a ambos lados de estos difusores con forma de "T" y dispuestos a una cierta altura por sobre el caño.

#### El modelo a florante UM

El UM es el más moderno de una serie de modelos diseñados para el agua y la atmósfera. La versión marina OUTPLM fue la base del modelo MERGE (Frick 1981); sus posteriores mejoramientos dieron lugar a los modelos

UOUTPLM y UMERGE (Muellenhoff et al., 1985). El modelo UMERGE fue mejorado considerando plumas con flotación negativa y admitiendo valores de contaminación ambiental. El modelo UM incluye la formulación Lagrangiana y las fórmulas de captación del área proyectada ("projected area entrainment", PAE). A su vez, PAE incluye otros procesos como la captación forzada, la masa de agua incorporada en la pluma por efecto de la corriente, y la captación de Taylor o "aspirada". El modelo UM ha sido probado para diferentes números de Froude densimétricos (relación entre el momento y la flotación de una pluma), y de valores  $k$  (relación entre la velocidad del efluente y la corriente ambiental).

Normalmente los simples modelos eulerianos o lagrangianos definen sólo la trayectoria del elemento, el paso por su centro de masa. La forma del elemento se supone previa y arbitrariamente. Normalmente, se idealizan formas cilíndricas. Como se conoce el efecto del curvamiento de la pluma por causa de la corriente ambiental, UM permite simular la forma de un cono curvado. Los límites de este elemento entonces son considerados como anillos de un cono curvo. La asimetría del cono hace que el largo de los diferentes "radios", sea dependiente de la dirección. Muchas limitaciones de formas escapan al modelo UM y así lo advierte en cada oportunidad que esto sucede. Se supone que la pluma se encuentra en estado constante. En la formulación lagrangiana esto implica que sucesivos elementos siguen la misma trayectoria. A medida que los elementos cambian en forma y posición con el tiempo, la cubierta de la pluma no cambia mientras no cambien las variables que definen esos límites. La suposición de estado constante se utiliza para calcular el largo de los elementos de la pluma en función de la velocidad promedio instantánea. El radio del elemento varía según la convergencia o divergencia de la velocidad y su captación en el fluido ya que el líquido es prácticamente incompresible.

El modelo incluye los principios de conservación de masa (continuidad), momento y energía. La conservación de la masa indica que se conserva la masa original del elemento, más la agregada y captada ("entrained"). Es decir, que a la masa original debemos sumar la masa del fluido incorporado del exterior de la pluma en un cierto tiempo. De igual modo, se mantiene el momento horizontal. El producto de la masa del elemento por la velocidad horizontal se incrementa con el momento horizontal del fluido captado en el mismo tiempo. El momento vertical no se conserva debido a que cambia por efecto de la flotación (fuerza de un cuerpo que se eleva por la diferencia de densidades respecto al fluido ambiente). Finalmente, la energía se conserva incrementada por la cantidad de energía incorporada de un calor específico constante, la masa captada y la temperatura ambiente.

#### Efecto del decaimiento (T90)

Los modelos enumerados son aplicables para contami-

### *Simulación del transporte dispersivo con decaimiento: futuro emisario submarino de Mar del Plata.*

nantes conservativos (decaimiento = 0) o para ambientes no contaminados. PLUMES (RSB + UM) posee ecuaciones adicionales para decaimientos de primer orden y con contaminaciones ambientales previas, e.g. pluma de coliformes en un ambiente con coliformes. Los pasos a seguir son:

1. Se fija una distancia a recorrer por la pluma.
2. Se computan sucesivamente los incrementos establecidos ("far inc").
3. Cuando estos incrementos alcanzan el valor máximo establecido ("far dis"), se fija el valor obtenido.

Como las estimaciones en el campo lejano son mucho más simples que las utilizadas para la dilución inicial, se recomienda considerar aproximaciones que puedan resultar alternativas y contrastables en el campo. Por este motivo, y en la obligación de considerar los efectos de corrientes de mareas, vientos y Coriolis, en nuestra simulación horizontal se utilizó el programa *AQUASEA*.

#### **SIMULACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DE UNA PLUMA**

Se utilizó el programa *AQUASEA* que consiste en un modelo de flujo hidrodinámico y un modelo de transporte dispersivo. *AQUASEA* ha sido desarrollado por Vatnaskil Consulting Engineers (1992) para resolver las ecuaciones de flujo y transporte usando el método de elementos finitos de Galerkin. El esquema numérico de este programa se produjo en colaboración con el Science Institute de la University of Iceland.

*AQUASEA* consiste en un modelo de flujo hidrodinámico y un modelo de transporte dispersivo. El modelo de flujo hidrodinámico puede simular las variaciones del nivel y flujo de agua como respuesta a varias funciones perturbadoras en recintos como lagos, estuarios, bahías y áreas costeras. Las variaciones de nivel y flujo de agua son aproximadas en la grilla de elementos finitos y calculadas sobre la base de la información batimétrica, resistencia del fondo, campo de velocidades de viento, y condiciones de borde. El modelo de transporte dispersivo simula el esparcimiento de una sustancia bajo determinado flujo hidrodinámico y las condiciones del proceso de dispersión. La sustancia puede ser un contaminante conservativo o no conservativo, orgánico o inorgánico (por ejemplo salinidad, suspensión de sedimentos, oxígeno disuelto, fósforo, nitrógeno u otro parámetro de calidad de agua), en nuestro caso la concentración de bacterias coliformes totales en 100 ml.

En los bordes norte, este y sur se estableció una variación del nivel en función del tiempo, mientras que para el contorno oeste (costa) una condición sin flujo. La batimetría se tomó de la carta H-250 (Servicio de Hidrografía Naval) y corroborada con los nuevos relevamientos de detalle ejecutados. Comprobado que los flujos superficiales (registros de corrientes) están dominados por los componentes norte-sur de la marea, se deformó la grilla en sentido este - oeste, a

efecto de reconocer pequeñas variaciones en la componente norte - sur. *AQUASEA* permite simular además los efectos de Coriolis, la influencia de la velocidad y dirección del viento. Se analizaron los efectos de vientos de 10 m/seg de todas las direcciones (N, E, S y O) para cuando se dieran volcados extremos (máximo caudal de operación del efluente). Los efectos de ola pueden simularse mediante la ecuación dinámica, a través del coeficiente de fricción del fondo (Chezy), y en la ecuación de transporte, como coeficientes de dispersión en sentido  $x$  ó  $y$ . Estas correcciones fueron descartadas realizadas por la incertidumbre en las condiciones de olas válidas para esta zona.

Una vez simuladas las condiciones dinámicas, *AQUASEA* permitió introducir un valor de caudal en uno de los nodos definido como el extremo de un eventual emisario, y a una determinada concentración. En nuestro caso, se simuló tanto el caudal promedio de operación previsto para el año 2025 (4,8 m<sup>3</sup>/seg) como el caudal máximo previsto (8,6 m<sup>3</sup>/seg) (Tabla 1). En todos los casos, se simuló una concentración máxima de 10<sup>9</sup> coliformes totales/100 ml. El decaimiento bacteriano (T90) se fijó a valores de noche (10 horas) como a valores de mediodía (1,2 horas). En los casos nocturnos, se simularon 9 horas sin luz; en los casos diurnos, 12 horas (situación de invierno). Esta versión de *AQUASEA*, permite establecer una ecuación de variación del decaimiento (de coliformes totales) durante el día. En nuestro caso 21 (ver resultados), se ha establecido un decaimiento variable a lo largo de 24 horas (Tabla 1). *AQUASEA* está diseñado para resolver las ecuaciones de transporte de masa y calor. Mediante la adecuada selección de los parámetros de transporte de coliformes, sedimentos o calor se puede abordar el problema.

#### **RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN VERTICAL**

Las corridas de los modelos se realizaron para condiciones reales medidas durante 1996: perfiles de temperatura, salinidad, corrientes, concentraciones ambientales de coliformes totales. Estas mismas condiciones fueron extrapoladas para simular el aumento del caudal de vertido para el año 2025 (4,8 m<sup>3</sup>/seg). Se simuló un emisario de 3 km con 285 difusores separados cada 7,3 m, cuyo extremo está a 11 m de profundidad (esta profundidad coincide con la batimetría realizada). En el último caso se simularon 100 difusores en los últimos 730 m del emisario. En todos los casos, se consideraron velocidades de marea actuando perpendicularmente al emisario (las corrientes de marea son dominantes con una dirección norte - sur), con una velocidad de 0,15 m/seg. El decaimiento, en todos los casos, se consideró de 1 hora. Esto coincide aproximadamente con una experiencia realizada en un estanque de agua salada que dio un T90 de 75 minutos (Isla et al., 1996) y con extrapolaciones realizadas de acuerdo a la latitud como aproximación a la luminosidad (García Occhipinti, 1976).

Caso	modelo	Q (m <sup>3</sup> /seg)	# ports	C ef	C amb	X i (m)	C (2 km)	C (3 km)
1	RSB	3,5	285	10E7	16	62	5	0
2	RSB	3,5	285	10E7	3	18	152	2
3	UM	3,5	285	10E7	3	-	229	3
4	UM	3,5	285	10E7	30	83*	1	0
5	RSB	3,5	285	10E9	10	60*	120	1,5
6	RSB	3,5	285	10E7	30	59	5	0
7	UM	4,8	285	10E9	30	72*	134	1,7
8	RSB	4,8	285	10E9	70	19	1664	22
9	UM	4,8	285	10E9	70	75*	313	4
10	RSB	3,5	100	10E9	16	43	1039	12

C ef: Concentración del efluente (coliformes totales en 100 ml)  
 C amb: Concentración ambiental (coliformes totales en 100 ml)  
 C (2km) y C (3 km): concentraciones de CT en 100 ml a los 2 y 3 km  
 X i : longitud de la zona de mezcla inicial (m)  
 \* distancia del efluente en que aflora la pluma (m)

Tabla 2. Resultados de las simulaciones realizadas con los modelos RSB y UM.  
 Table 2. Results of simulations using RSB and UM models.

**Caso 1. (17 JUL. 1996).** Los datos del 17 de julio de 1996 fueron corridos según temperaturas (13,5 °C) y salinidades (0,12UPS) del efluente medidas en su actual descarga en la playa (ver Tabla 1). Se optó por un caudal normal actual (3,5 m<sup>3</sup>/seg) y una concentración normal (10<sup>7</sup> CT/100 ml). La concentración ambiente se fijó en 16 CT/100 ml. Las velocidades de corrientes variaban en profundidad entre 0,1 y 0,35 m/seg (0,2-0,7 nudos). Las salinidades y temperaturas del agua de mar (estación 50; Tabla 2) de ese día rondaban 33UPS. y 9 grados, respectivamente.

El modelo RSB indicó que la dilución inicial se cumplía en los primeros 62 m del emisario, y tendría un espesor de casi toda la columna de agua (h<sub>e</sub>=10 m). La concentración mayor (Z<sub>m</sub>) estaría a 7,4 m del fondo. En el campo lejano se interpreta que concentraciones de coliformes totales aptas para el baño (1000-100 CT/100 ml) se ubicarían a unos 1000-1500 m del extremo con difusores (Tabla 1). Esta distancia se cumpliría en unas 2-3 horas.

**Caso 2-3. (30 ABR. 1996).** Para las condiciones de abril de 1996, sólo se varió el perfil de velocidad, temperatura y salinidad: menores velocidades (0,1-0,3 m/seg), mayores temperaturas (16-17°C) y menores salinidades (31 UPS). El modelo RSB indicó que la dilución inicial abarcaría una distancia de sólo 18 m. La pluma tendría un espesor de 2,8 m y fluiría sumergida (8 m). La concentración máxima se daría a 2,1 m del fondo. En el campo lejano indica que las condiciones de balneabilidad se cumplirían a 2 km del extremo con difusores (Tabla 2). La pluma se

habría trasladado durante más de 3,7 horas. El modelo UM indica resultados semejantes: condiciones de balneabilidad a 2 km y 3,7 horas.

**Caso 4. (5 JUN. 1996).** Las condiciones del 5 de junio indican altas velocidades de corrientes (0,15-0,6 m/seg), salinidades entre 33,7 y 34,1UPS., y temperaturas de 12,5 grados. Se aumentó la concentración ambiental de coliformes a 30 CT/100 ml. En este caso, el modelo UM indica que el afloramiento se produciría a 83 m del emisario. Debido a las fuertes corrientes, la balneabilidad se obtendría en los primeros 1000 m (Tabla 2), luego que la pluma se hubiera desplazado durante 1,7 horas.

**Caso 5. (11 JUN. 1996).** Las condiciones ambientales del 11/6 fueron muy similares a las del día 5. Se probó aumentar la concentración del efluente a un valor máximo de 10<sup>9</sup> CT/100 ml. El modelo UM indicó que la pluma alcanzaba la superficie a 60 m del emisario. La balneabilidad para estas concentraciones máximas se obtendría a 2000 m del emisario (Tabla 2); 3,6 horas de recorrido de la pluma.

**Caso 6. (17 SET. 1996).** En este caso se volvieron a simular 3,5 m<sup>3</sup>/seg de efluente con una concentración de 10<sup>7</sup> CT/100 ml. Se simulaban velocidades bajas y altas salinidades. La temperatura se mantuvo alrededor de 11°C y una concentración ambiente de 30 CT/100 ml. El modelo RSB indicó que la pluma ocuparía toda la columna finalizando la mezcla



## Simulación del transporte dispersivo con decaimiento: futuro emisario submarino de Mar del Plata.

inicial a 59 m de la evacuación. La concentración máxima se ubicaría a 7,2 m sobre el fondo (Tabla 2). En el campo lejano, las concentraciones de aptitud para el baño se obtendrían entre 1000 y 1500 m del extremo del efluente (2-3 horas).

**Caso 7. (5 JUN. 2025).** La modelación solicitada exigía condiciones futuras de operabilidad. En este caso, se mantuvieron las corrientes, temperaturas y salinidades del caso 4. Se simuló entonces un caudal promedio de 4,8 m<sup>3</sup>/seg a una concentración de 10<sup>9</sup> CT/100 ml. El modelo UM reconoció un afloramiento de la pluma a 72 m de los difusores. Las condiciones de aptitud se obtendrían entre los 1500 y 2000 m (Tabla 2). La pluma habría recorrido esas distancias entre 2,6 y 3,6 horas.

**Caso 8-9. (30 ABR. 2025).** Para condiciones de fin del verano del 2025, se aumentó la concentración del efluente (10<sup>9</sup> CT/100 ml) y ambientales (70 CT/100 ml). RSB indica que el largo de la mezcla inicial es de sólo 19 m. La pluma se elevaría 3,6 m sobre el fondo (7,4 m de la superficie), tendría un espesor de 3,2 m con una concentración máxima a una altura de 2,4 m del fondo. En el campo lejano, las condiciones de balneabilidad se lograrían ahora a 2000-2500 m; 3,7 a 4,6 horas del vertido. El modelo UM indica el afloramiento a 75 m del emisario. Del mismo modo que RSB, la balneabilidad se lograría a distancias (2000-2500 m) y tiempos similares (3,4-4,5 horas; Tabla 2).

**Caso 10. (17 JUL. 1996).** En todos los casos anteriores se simularon los 285 difusores separados cada 7,315 m tal cual lo sugerido inicialmente por Baumgartner et al. (1993). En este último caso se consideraron sólo 100 difusores separados la misma distancia e idéntico diámetro de 0,15 m. Para caudales normales de hoy día (3,5 m<sup>3</sup>/seg) y concentraciones altas (10<sup>9</sup> CT/100 ml). El modelo RSB predice un largo de mezcla inicial de 43 m, y una columna de casi 10 m con concentración máxima a 7,4 m del fondo. Las condiciones aptas para el baño se lograrían en los 2500 m del extremo (Tabla 2).

### RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HORIZONTAL

Las distintas simulaciones (casos) consideraron variaciones en los caudales (medios y máximos de verano), en las concentraciones originales, en el decaimiento y en los efectos de la dirección y velocidad del viento (Tabla 3).

**Caso 11.** Se corrió la simulación de un emisario de 3 km para una marea semidiurna de 0,8 m de amplitud, un caudal de vertido máximo de 8,6 m<sup>3</sup>/seg y una concentración la salida de la planta de tratamiento de 10<sup>9</sup> coliformes totales/100 ml. Se consideró la condición del “peor escenario”, vientos del E de 10 m/seg, pero con un rápido decaimiento de 1,2 horas. Los resultados reconocen la inversión de las corrientes de marea hacia el N (Fig. 2a) y hacia el S. En ningún caso, la

Caso	Q (m <sup>3</sup> /s)	W (m/s)	dirección	T90 (hs)	C. Contor.*	t (hs.)	Figura
11	8,6	10	E	1,2	1-2	12	Fig. 2a
12	8,6	10	S	1,2	1-2	12	-
13	8,6	10	E	10	1-2	9	Fig. 2b
14	8,6	10	S	10	1-2	9	-
15	8,6	10	N	10	1-2	9	Fig. 2c
16	8,6	10	O	10	1-2	9	-
17	4,8	0	-	1,2	2	12	-
18	4,8	0	-	10	2	12	-
19	4,8	0	-	3	2	12	-
20	4,8	0	-	5	2	12	-
21	4,8	0	-	f(t)	2	12	Fig. 2d

\*Condiciones de contorno: 1. viento 10 m/seg. 2. marea sinusoidal: T = 12,4 hs, amplitud = 0,80 m

Evolución del T90 para el caso 21.

Hora	T90 (horas)
0	10
6	5
8	3
10	1,2
16	3
18	5
20	10

**Tabla 3. Condiciones de simulación del programa AQUASEA para la plataforma de Camet.**

**Table 3. Simulations conditions of the AQUASEA software for the platform of Camet.**

pluma afectaría más allá de 1 km del extremo del emisario. En este caso, no habría efectos en la costa en tanto la concentración es menor a 1000 CT/100l.

**Caso 12.** Iguales condiciones se simularon pero para vientos de 10 m/seg provenientes del S. Al cabo de 12 horas, la pluma afectaba sólo un área poco significativa. Como normalmente estas simulaciones se consideran para corrientes hacia el norte, luego hacia el sur y a las 12 hacia el norte nuevamente, se simularon las mismas condiciones para secuencias mareales sur-norte-sur. Los resultados no presentaron variación significativa respecto a la condición original.

**Caso 13.** Para condiciones de noche (decaimiento de 10 horas), al cabo de 9 horas de caudales de 8,6 m<sup>3</sup>/seg con vientos del E (10 m/seg), la concentración de CT sería significativa en toda la costa al sur de Camet dados los efectos de corrientes residuales hacia ese sector (Fig. 2b).

**Caso 14.** Para condiciones similares de caudales máximos durante la noche y vientos del sur (10 m/seg), luego de 9

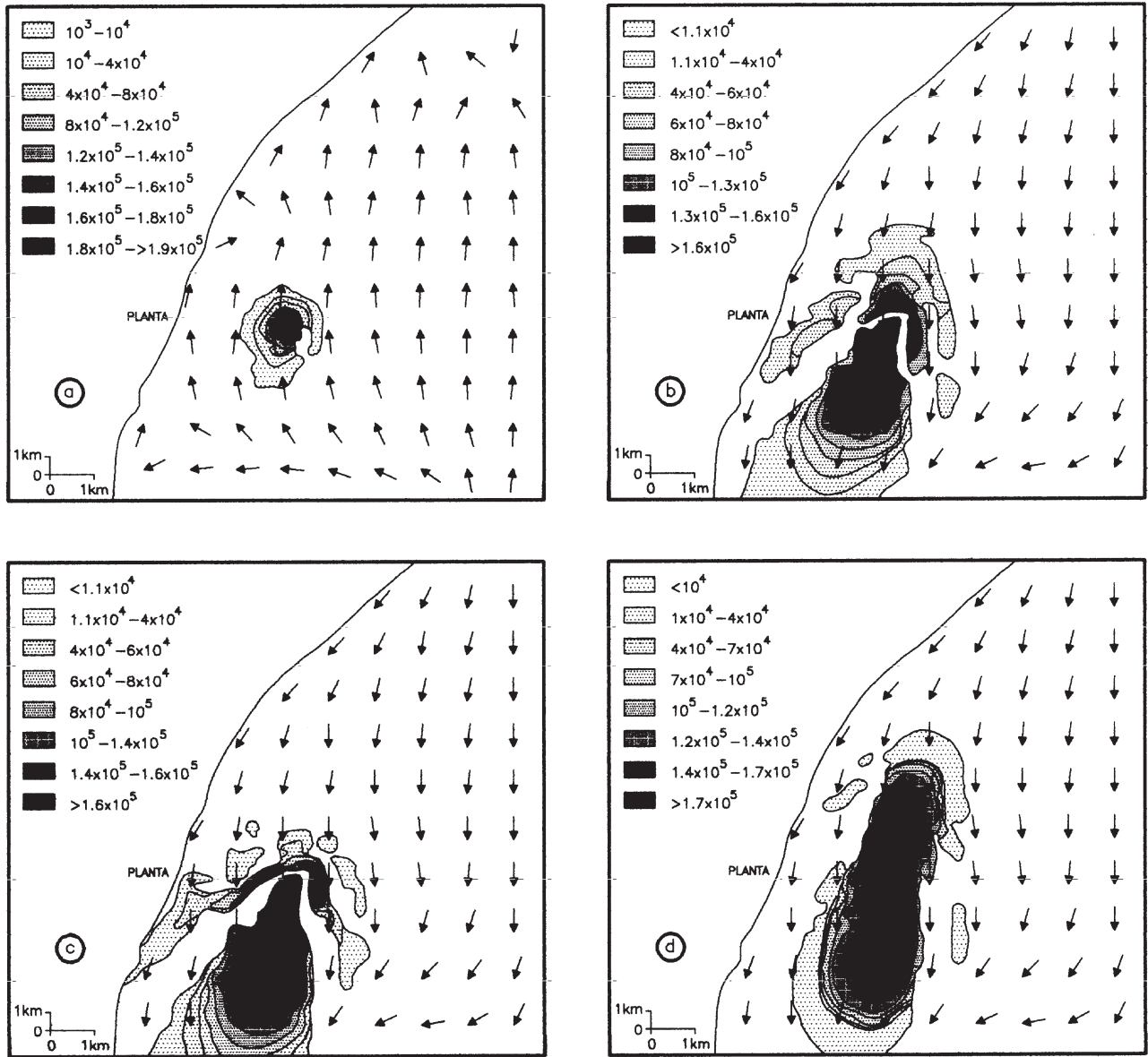


Fig. 2. a) Resultados del caso 11 para corrientes de marea de sur a norte ( $T_{90}=1,2$  horas). b) Resultados del caso 13, corrientes de norte a sur a las 9 horas de simulación. c) Resultados del caso 15, corrientes de norte a sur a las 9 horas de simulación ( $T_{90}=10$  horas). d) Resultados del caso 21, corrientes de norte a sur a las 9 horas de simulación ( $T_{90}$  variable).

Fig. 2. a) Results of the case 11, tidal currents were from south to north ( $T_{90}=1.2$  hours). b) Results from case 13 after 9 hours of simulation, tidal currents from north to south. c) Results of case 15 after 9 hours, tidal currents from north to south ( $T_{90}=10$  hours). d) Results of case 21 after 9 hours of simulation, tidal currents were from north to south ( $T_{90}$  varies along the day).

horas, las corrientes de marea se invertirían pero la pluma permanecería sin afectar la costa.

**Caso 15.** Para condiciones de máximo caudal durante la noche y viento persistente del norte (situación típica del verano), luego de 9 horas, la pluma llegaría a afectar las playas próximas a La Perla (Fig. 2c).

**Caso 16.** En cambio, para condiciones de máximo caudal y

condiciones nocturnas pero con vientos del oeste (10 m/seg), las corrientes se invierten y la pluma se expande, aunque no llegaría a afectar las playas del centro de Mar del Plata.

**Caso 17.** En condiciones de caudales promedio (4,8 m<sup>3</sup>/seg) y rápido decaimiento (1,2 horas), aún sin viento, la pluma no tiene dispersión.

**Caso 18.** En condiciones nocturnas con caudal promedio (y

## *Simulación del transporte dispersivo con decaimiento: futuro emisario submarino de Mar del Plata.*

sin viento), al cabo de 12 horas, la pluma del emisario afectaría todas las playas al sur de Camet.

**Caso 19.** Se simuló además la pluma para caudales promedio, sin viento, y con un decaimiento de 3 horas. A las 12 horas de acción de las corrientes de marea, la pluma no afectaría las playas. Esta condición de decaimiento de 3 horas simularía un día bastante nublado, primeras horas de la mañana o últimas horas de la tarde.

**Caso 20.** En un día sin viento y con un decaimiento lento (5 horas), a las 12 horas la pluma se extendería hacia el sur comprometiendo las aguas de baño de ese sector.

**Caso 21.** Por último, se simuló un vertido promedio ( $4,8 \text{ m}^3/\text{seg}$  del año 2025), sin viento pero considerando un decaimiento variable durante 24 horas (Tabla 3). Las primeras 3 y 6 horas no reportarían mayor compromiso de las aguas. En cambio a partir de las 9 horas la pluma adquiere una forma elongada en razón de las corrientes de marea y afectando una buena porción de las aguas de la plataforma (Fig. 2d). No obstante, no llegaría a la playa ninguna concentración de coliformes superior a 1000 CT/100 ml.

## DISCUSIÓN

En nuestro país no existen normas que fijen los valores críticos que deben utilizarse en los cálculos o monitoreo de la dilución inicial; ni siquiera las que regulan la calidad de las aguas utilizables para el baño. La agencia norteamericana EPA posee diferentes valores críticos de dilución inicial para cada situación: 0 m/seg (California), o percentil 10 de la frecuencia de velocidades. Todas las normas regulatorias admiten ciertos valores superiores a lo permitido dentro de una zona de mezcla. Los límites de esta zona de mezcla son materia de mayor discusión. De modo arbitrario se han fijado respecto al largo de la zona con difusores o a la profundidad. Por ejemplo, para velocidades bajas como 0,1 m/seg, la dilución inicial se completa antes que la pluma recorra una distancia igual a la profundidad, y de acuerdo a la frecuencia de flotación (N) que es una medida de la estratificación de densidades. A velocidades fuertes del orden de 1 m/seg, la distancia de la zona de mezcla sería de 300 m. El modelo UM establece que a medida que aumenta la velocidad de la corriente aumenta también el factor de dilución hasta un valor de corriente por encima del cual el factor disminuye.

El término “campo cercano”, es comúnmente utilizado para una zona dentro de la zona de dilución inicial crítica (DIC). El “campo lejano”, se utiliza para áreas factibles de ser impactadas fuera de la zona DIC. Para muchos casos, el “campo cercano”, equivale a la zona de mezcla.

Algunos modelos de flotación de plumas, utilizan factores de dilución en función de la concentración en el centro del flujo, también llamado dilución “mínima”, en la sección

transversal de la pluma. A medida que el radio se expande la dilución mínima aumenta progresivamente. Otros modelos calculan la dilución promedio para la sección de pluma, que por supuesto aumenta en el sentido del flujo. La dilución promedio es siempre mayor que la dilución mínima. En general es preferible para la comparación de modelos utilizar el valor central de la pluma que los valores promediados. Las diluciones mínimas son los valores que buscan los reguladores, mientras que las diluciones promedio son necesarias para los técnicos.

Los reguladores ambientales se interesan tanto en valores discretos como en sus promedios temporales. Las agencias reguladoras han establecido valores máximos instantáneos permitidos y valores promediados temporalmente. Como es muy difícil obtener un valor instantáneo en unos pocos segundos, se utilizan los valores durante situaciones extremas, estoas (calmas de mareas), calmas o vientos sin corrientes. En estas condiciones, los valores no variarán entre los diferentes difusores, aunque debe especificarse si lo que se busca es la dilución mínima o promedio.

En otros casos, donde se reconoce un efecto estacional significativo en el emisario, se utilizan promedios (medias) de 6 meses de un número mínimo de observaciones en los límites de la zona de mezcla. En otros casos, donde es conocido un significativo cambio estacional - como es el caso de Mar del Plata -, se recomienda utilizar promedios estacionales (verano - invierno, temporada alta - temporada baja). Como los datos variarán en función de las direcciones y velocidades de las corrientes, se debe establecer una Frecuencia de Muestreo necesaria tanto para los cálculos del diseño como durante el posterior monitoreo. Otras veces se utiliza la máxima concentración promediada de esos 6 meses. El objetivo es fijar la frecuencia de ocurrencia, la intensidad del estrés (concentración) y su duración, para evaluar el comportamiento de la pluma en el límite de la zona de mezcla.

Con el objeto de corroborar los modelos, es útil realizar verificaciones de campo. Debido al efecto de los difusores cuanto más nos acercamos al emisario mayor variabilidad habrá. Por ello se recomienda realizar una verificación de campo en zonas alejadas pero donde todavía el modelo es aplicable. Se recomienda realizar estos estudios en momentos de bajas corrientes de modo que la pluma se mueva principalmente por flotación.

Los indicadores de la calidad del agua (por ejemplo oxígeno disuelto) no son uniformes ni constantes tanto en espacio como en el tiempo al final de la zona de mezcla. Las inhomogeneidades en sentido horizontal de un efluente generalmente no son conocidas y ordinariamente la pluma es considerada uniforme. Estas inhomogeneidades horizontales son debidas a las interacciones entre el flujo y los difusores, y generalmente se reconocen en la etapa de diseño, análisis de funcionamiento o monitoreo. Las inhomogeneidades en sentido vertical son importantes y se deben a los procesos físicos que influyen en la advección, además de los procesos biológicos y químicos que cambian

la forma y concentración de los constituyentes. El OD es un indicador de la calidad del agua de alta variabilidad vertical. Su variación en una pluma es importante por sus efectos en la actividad biológica y en la estrategia de regulación en los límites de la zona de mezcla.

Los modelos considerados por Muellenhoff et al. (1985) son de estado constante. Las diluciones iniciales efectivas que requiera la US EPA considera en sus aproximaciones el "peor escenario" tanto en lo que concierne al funcionamiento del efluente como a las condiciones del cuerpo de agua receptor; es decir con muy poca probabilidad de ocurrir. Se recomienda entonces analizar la distribución de frecuencias de velocidades de corrientes, y su variación estacional a lo largo del año. En un análisis previo debe demostrarse que la mayor parte del tiempo las diluciones exceden los valores críticos que fijan los marcos regulatorios.

Dependiendo del número de Froude densimétrico en la descarga, los efectos del flujo de los dispersores en la dilución puede ser perjudicial, insignificante o favorable. Para bajos números de Froude, como normalmente ocurre en efluentes municipales, disminuciones en el flujo producen menores diluciones. Para números de Froude mayores, al aumentar las descargas aumentan las diluciones.

En aguas poco profundas o con estratificación por densidad, es muy importante el efecto del jet de la pluma que aumenta la puesta en movimiento ("entrainment") del líquido efluente lo que origina una mayor distancia de transporte hasta que se incorpora en el nivel de atrapamiento o alcanza la superficie. En cambio para aguas profundas, es la distancia vertical por flotación la que domina en los efectos de dilución. El modelo UM predice un efecto negativo más importante en la dilución cuando se aumenta el flujo de 4,4 a 12 m<sup>3</sup>/seg. El modelo RSB no calcula la dilución volumétrica en la superficie. Este modelo calcula la dilución volumétrica al final de la flotación cuando existe una profundidad suficiente para completar la dilución inicial.

La profundidad del emisario es un factor que no siempre ha sido reconocido. Es cierto que para iguales condiciones, a mayor distancia vertical que debe recorrer la pluma es mayor la cantidad de ella que es puesta en movimiento. Si se selecciona una ubicación de mayor profundidad pero menor circulación, la dilución será menos efectiva que ubicándolo en áreas menos profundas. Esto ocurre normalmente en casos de fiordos, algunas bahías y estuarios. Las consecuencias de grandes acumulaciones de materia particulada en el fondo pueden ser muy importantes en el largo plazo. Existe una tradición de ubicar los emisarios a la mayor profundidad económicamente posible. No obstante, en costas como la californiana valores altos de coliformes en las playas fueron atribuidos a una estratificación en la zona del efluente durante el verano. Se recomiendan entonces criterios adicionales como las condiciones físicas relacionadas a estuarios.

## CONCLUSIONES

1. En 8 de los 10 casos considerados para la simulación de la dilución inicial en las inmediaciones del emisario con difusores, las condiciones de balneabilidad se lograrían a menos de 2 km; en los otros dos casos a 2,5 km.
2. De acuerdo a las simulaciones de dispersión RSB y UM, un emisario de 3 km cumpliría con los requerimientos de balneabilidad.
3. Las variables más sensibles a estas simulaciones basadas en principios hidráulicos son el decaimiento bacteriano (T90) y la concentración ambiental de coliformes.
4. Las simulaciones bidimensionales de concentraciones de 10<sup>9</sup> coliformes totales en 100 ml, indican que para decaimientos de 1,2 horas no hay mayor compromiso de las aguas de baño ni siquiera para caudales máximos de 8,6 m<sup>3</sup>/seg.
5. En condiciones nocturnas (decaimiento de 10 horas) y caudales máximos de 8,6 m<sup>3</sup>/seg, el compromiso de la balneabilidad sería significativo en la costa tanto para vientos del este como del norte; esta última condición sería normal en época de verano. Lo mismo sucedería durante la noche para caudales promedios extrapolados para el crecimiento de Mar del Plata en el año 2025 (4,8 m<sup>3</sup>/seg) y sin viento.
6. Para casos (hipotéticos) con decaimientos de 3 horas (caudales de 4,8 m<sup>3</sup>/seg y sin viento), no habría mayor afectación de playas; pero sí con un decaimiento de 5 horas.
7. La simulación con decaimiento variable indica peligrosidad durante las primeras horas de la mañana, aunque deberían corroborarse los valores de decaimiento inferidos para estas horas.

**Agradecimientos.** Los autores desean expresar su agradecimiento a todos los que colectaron datos durante el trabajo original del Convenio UNMDP-OSSE; especialmente al personal interviniente de otras reparticiones: Servicio de Hidrografía Naval, Instituto Argentino de Oceanografía y Prefectura de Mar del Plata. El Laboratorio de Bacteriología de la UNMDP realizó las determinaciones de coliformes para aproximar un valor de T90. M. Farenga y L. Cortizo estuvieron a cargo de las figuras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTONE, C. R. & H. J. SALAS, 1985. Nuevos enfoques para la disposición final de aguas residuales en América Latina y el Caribe. *Boletín Organismo Sanitario Panamericano*, 98, 1.
- BAUMGARTNER, D. J., W. E. FRICK & P. J. W. ROBERTS, 1983. Dilution models for effluent discharges (2nd. ed.). *US Environmental Protection Agency, Pacific Ecosystem Branch, Newport, Oregon*, 179 pp.
- FRICK, W. E., 1981. A theory and users guide for the plume model MERGE, revised. *Tetra Technology Incorporation, Environmental Research Laboratory, Corvallis, OR*.

*Simulación del transporte dispersivo con decaimiento: futuro emisario submarino de Mar del Plata.*

- GARCÍA OCCHIPINTI, A., 1976. Pesquisas oceanográficas e de decaimiento bacteriano em águas litorâneas brasileiras. *XV Congreso Interamericano de Engenharia Sanitaria*, Buenos Aires: 13pp.
- BONHAM-CARTER, G. & A. J. SUTHERLAND, 1968. Mathematical model and FORTRAN IV Program for computer simulation of deltaic sedimentation. *Computer contribution 24*, Kansas Geological Survey, 56 pp.
- HARBAUGH, J. W. & G. BONHAM-CARTER, 1970. Computer Simulation in Geology. *Wiley-Interscience, J. Wiley and sons*, 575 pp.
- HORIBA, 1991. *Instruction Manual Water Quality Cheker U-10*. Kyoto Japan, 77 pp.
- INCYTH, 1984. Estudio de la factibilidad de la disposición en el mar de los efluentes cloacales de la ciudad de Mar del Plata. 88 pp. (informe inédito). Ezeiza.
- ISLA, F. I. & S. ALIOTTA, 1999. Storm dispersal of volcanogenic sands from Buenos Aires. Where heavy-metal concentrations are heavy-mineral segregations. *Marine Georesources and Geotechnology* 17(4): 357-370.
- ISLA, F. I., J. PÉREZ GUZZI, A. ZAMORA & A. FOLABELLA, 1998. Aportes de coliformes a la costa de Mar del Plata por vías naturales e inducidas. *Revista Thalassas, Universidad de Vigo y de Santiago de Compostela* 14: 63-70.
- MOFFA, P.E., 1996. The control and treatment of industrial and municipal stormwater. *Van Nostrand Reinhold, International Thomson Publication*, 310 pp.
- MUELLENHOFF, W. P., A. M. SOLDATE, D. J. BAUMGARTNER, M. D. SCHULDT, L. R. DAVIS & W. E. FRICK, 1985. Initial mixing characteristics of municipal ocean outfall discharges: Volume 1. *Procedures and Applications*. EPA/600/3-85/073a.
- MUÑOZ HERNÁNDEZ, A., 1990. Saneamiento y alcantarillado. Col. Señor 7, *Publicaciones de la Escuela de Caminos de Madrid*. Editorial Paraninfo, Madrid, segunda edición, 745 pp.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1993. Managing wastewater in coastal urban areas. *National Academy Press*, Washington, 477 pp.
- NIKOLOV, K., J. A. REVILLA, C. ALVAREZ & A. LUCEÑO, 1994. A design methodology for combined sewer system elements with overflows in coastal zones. *Journal Coastal Research* 10(3): 531-538.
- PEREZ GUZZI, J. I., A. M. FOLABELLA & A. S. ZAMORA, 1996. Faecal coliform in Mar del Plata storm-water outlets. *Proceedings International. Coastal Symposium*, Bahía Blanca.
- QUETIN, B. & M. DE ROUVILLE, 1986. Submarine sewer outfalls. *Marine Pollution Bulletin* 17(4): 133-183.
- ROBERTS, P. J. W., 1989. Dilution hydraulic model study of the Boston Wastewater Outfall. *Report Number SCEGIT 89-101*, School of Civil Engineering, Georgia Institute of Technology.
- ROBERTS, P. J. W., W. J. SNYDER & D. J. BAUMGARTNER, 1989. Ocean outfalls I: submerged wastefield formation. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering* 115. No. 1. pp 1-25.
- ULIBARRERNA, J., 1980. Estudio de la dinámica de las aguas marinas de la zona costera de la ciudad de Mar del Plata. *Convenio Facultad Ciencias Naturales-Obras Sanitarias de la Nación, Regional Pampeana, Informe Inédito*, La Plata, 34 pp.
- VATNASKIL CONSULTANT ENGINEERS, 1992. *AQUASEA: tidal flow in estuaries and coastal areas*. Lake circulation. *Transport modelling*. Vatnaskil Consultant Engineers. Reykjavik, Iceland, 54 pp.

**Federico Ignacio ISLA**  
**Centro de Geología de Costas y del Cuaternario**  
**Casilla de Correos 722**  
**7600 Mar del Plata.**  
**República Argentina**  
**E-mail: fisla@mdp.edu.ar**

**Aníbal CASSANELLI**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Av. J. B. Justo y Ratero**  
**7600 Mar del Plata.**  
**República Argentina**  
**E-mail: acassane@fi.mdp.edu.ar**

**Recibido:** 20 de marzo de 2000 .  
**Aceptado:** 30 de agosto de 2000.