

ESTUDIO EXPERIMENTAL, MEDIANTE TRAZADORES, DE LA DISPERSION DE CONTAMINANTES VERTIDOS EN LA BAHIA DE MONTEVIDEO, EN LAS PLAYAS DEL ESTE DE LA CIUDAD.

- 1- Roberto Suárez #
- 2- Leonel Crosignani *
- 3- Alejandro Dellepore #
- 4- Agustín Platos #
- 5- Martín Barreiro #
- 6- Rosario Odino #
- 7- Beatriz Souto #
- 8- Silvia Moreno #
- 9- Aldo Badano #

*- Dir. Departamento de Ingeniería Ambiental del IMPIA - Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, J. Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo, Uruguay Tel (5982) 710361, FAX (5982) 715446.

#- Dirección Nacional de Tecnología Nuclear, Ministerio de Industria, Energía y Minería, Mercedes 1041, 11100, Montevideo, Uruguay Tel (5982) 906919.

1- RESUMEN

El trabajo presenta los resultados obtenidos a través de una experiencia realizada mediante la inyección de trazadores (uranina y tritio) en la desembocadura Este de la Bahía de Montevideo.

El objetivo fue definir si existe o no influencia de la contaminación de las aguas de la bahía sobre las playas de la zona balnearia de la ciudad localizada al Este.

Los resultados obtenidos indican que efectivamente los contaminantes que se encuentran en la bahía, se distribuyen a lo largo de la costa en un fenómeno de dispersión paralelo a la costa, a poca distancia de la línea de rompiente, para las condiciones climáticas vigentes, que fueron las promediales de la temporada estival.

Se describen los fenómenos de contaminación que motivaron el estudio, los fenómenos de transporte más relevantes de la costa de Montevideo, la metodología experimental utilizada (de muestreo y laboratorio) y el soporte matemático de las hipótesis manejadas.

NOTA: La presente investigación experimental se llevó a cabo, a pedido de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República en el marco del Proyecto URU/8/007 que la Dirección Nacional de Tecnología Nuclear lleva a

cabo con la asistencia de la Agencia Internacional de Energía Atómica.

2-OBJETO

El objetivo de este estudio, es determinar si la contaminación de las aguas de la Bahía de Montevideo, afectan las Playas localizadas al Este de su desembocadura, mediante la utilización de trazadores adecuados.

3-DESCRIPCION DE LA PROBLEMÁTICA

La ciudad de Montevideo, capital de la República Oriental del Uruguay está situada al Sur del país con una localización geográfica aproximada de 35 grados latitud Sur y 56 grados longitud Oeste .

La ciudad limita al Sur con el Estuario del Río de la Plata, la costa posee una bahía con puerto natural en su extremo Sur Este y una cadena de hermosas playas que representan uno de sus recursos naturales más importantes, desde el punto de vista de la industria turística y como zona de recreación y esparcimiento por excelencia de la población durante la temporada estival. (Ver fig.1)

La ciudad posee un sistema de saneamiento de tipo unitario que atiende en la actualidad a 1.000.000 de personas lo que representa aproximadamente el 80% de la población del departamento.

Los desechos de las distintas cuencas se vierten al Río de la Plata de diversas formas, la primera de ellas y la más importante es el sistema costero, recientemente inaugurado, que recoge los efluentes entre el extremo Este de la ciudad y Punta Carretas donde una planta de Bombeo impulsa el líquido a través de un emisario subacuático de 2.300 m de longitud a su punto de disposición final. Al Oeste de Punta Carretas un interceptor actualmente en construcción deberá conducir al mismo punto de disposición los efluentes colectados desde el borde de la bahía de Montevideo (Calle Guaraní en el comienzo de la Escollera de cierre del Puerto).

Debe destacarse que los trabajos de saneamiento de la costa así como los diseños realizados han tenido como finalidad la descontaminación bacteriana de las aguas de recreo, razón por la cual no se enfatizaron los estudios en relación a la incidencia de contaminantes conservativos en las aguas costeras.

El resto de los líquidos generados en la ciudad se vierten, un pequeño porcentaje al arroyo Carrasco en el extremo Este de la costa y el saldo tienen como destino final la bahía de Montevideo

Esta es un espejo de agua semicerrada de 1200 Ha de extensión, cuya profundidad oscila entre 0,50 y 3,50 m a excepción de los canales del Puerto de Montevideo, donde mediante dragado y atendiendo a las necesidades de la navegación de ultramar se llega a 10 m aproximadamente.

El desarrollo urbano de la ciudad se dio históricamente alrededor de este cuerpo de agua, cuya principal característica es la de ser la estructura geográfica del Puerto, centro logístico del desarrollo mercantil del país.

Las instalaciones portuarias: muelles, depósitos, playas de contenedores, vías de comunicación etc. abarcan un barrio La Aguada. Actualmente Autoridades portuarias están remodelando dichas instalaciones con vistas a agilizar de la tarea portuaria en su conjunto.

Naturalmente la intensa actividad del puerto promovió en las proximidades del mismo el surgimiento de servicios relacionados como por ejemplo astilleros, dique seco, barracas, etc.

A orillas de la bahía se encuentra además a la refinería de ANCAP, que posee un muelle de atraque para pequeños buques tanque destinados al abastecimiento de derivados de petróleo al litoral del país. Dicho muelle se comunica con el Puerto a través de un canal de navegación que atraviesa la bahía.

Los usos actuales del cuerpo de agua, además de los portuarios son los siguientes: - suministro de agua para enfriamiento (la Central Batlle de UPE y la refinería de ANCAP utilizan el agua de la bahía para esta finalidad), pesca artesanal y deportiva, navegación deportiva.

La única zona de baños actualmente en uso es la Playa del Cerro, situada en el extremo Oeste, pues el resto del espejo de agua no posee características de balneabilidad, debido no solamente a su alto nivel de contenido bacteriano sino además por la presencia de cantidades muy importantes de residuos sólidos, aceites, grasa e hidrocarburos.

Las infraestructuras de abastecimiento de agua y saneamiento acompañaron el crecimiento de la ciudad con carencias históricas sobre todo en lo relacionado con el segundo rubro, situación que al agravarse llevó a la bahía al actual estado de deterioro ambiental generalizado.

En particular, el saneamiento de una parte muy importante de los barrios circundantes, Ciudad Vieja (incluido el Puerto), Centro, Arroyo Seco, fue realizado a fines del siglo pasado y principios de este.

La red construida, de tipo mallado unitario, vertía los efluentes sin mayores cuidados a la bahía y a la costa Sur de la ciudad.

Como parte de las obras de Implantación del Puerto, se construyeron a principios de siglo dos colectores con la finalidad

de eliminar los vertimientos de líquidos cloacales a la zona portuaria pues se los consideraba responsables por algunos de los problemas de salud pública que por ese entonces asolaron la ciudad

El primero de los citados fue construido en forma perimetral a la península de la ciudad vieja, llevando los afluentes a la altura de la confluencia de la costa Sur con la calle Guaraní. El segundo partiendo del centro de la ciudad en la Avenida Rondeau, atraviesa la parte alta de la cuchilla y desagua en la rambla Sur a la altura de la calle Paraguay.

El sistema construido cumplió con el cometido de alejar los efluentes de la bahía hasta mediados del siglo; a partir de esa época la situación se fue deteriorando en forma paulatina y sostenida.

Este escenario se fue consolidando debido a los aumentos de caudal provocado por la extensión del problema y se agrava por el fenómeno de la sobrecarga de los colectores debido al aumento de la población atendida.

Cuando se llegó al límite de capacidad del sistema se pretendió entonces subsanar el problema hidráulico con vertimientos de alivio a la bahía, aumentando de esta forma la cantidad de contaminantes vertidos a sus aguas. (Ver fig. 2)

A esta situación relacionada con la red de saneamiento de la ciudad (correspondientes a las denominadas cuencas Paraguay alto y Ciudad Vieja), se le suman los vertimientos del barrio del Cerro (de escasa importancia) y de los dos principales cuerpos de agua interiores del Departamento, los arroyos Miguelete y Pantanoso.

El primero aporta principalmente vertimientos de aguas cloacales de origen doméstico y una cantidad de residuos sólidos muy importantes provenientes de los barrios de hurgadores establecidos a sus orillas en el punto medio de su cauce.

El segundo aporta una capacidad muy grande de efluentes de origen doméstico y e industrial, debido a la concentración de industrias instaladas sobre todo en su margen izquierdo, se destaca que además de la materia orgánica se encuentran presentes otros contaminantes de mayor riesgo como por ejemplo Cromo aportado por las numerosas curtientes asentadas en su cuenca. En resumen se puede decir que la cantidad de materia orgánica (medida en DBO 5,20) vertida en la actualidad a la bahía se estima en 39 Ton/día por el sistema de vertedores de alivio de la cuenca Paraguay Alto y Ciudad Vieja, 19 Ton/día Arroyo Miguelete, 15 Ton/día Arroyo Pantanoso y 4 Ton/día barrio Centro.

En relación a contaminantes químicos como por ejemplo el Cromo se estima que se vierten a la bahía 1.000 Kg/día, de los cuales el 80% como iones solubles.

El cuerpo de agua comienza a dar signos de sobrecarga en relación a su poder de recuperación natural, apareciendo problemas

de olores por disminución de oxígeno, sobre todo después de las lluvias cuando el aporte de los arroyos se hace mayor y se acentúa la sedimentación de materia orgánica.

A modo de conclusión puede decirse que el nivel de contaminación de la bahía, debido a la sobrecarga de materia orgánica y de elementos químicos que se vierten en ella; provocan la degradación del cuerpo de agua con la aparición de olores ofensivos en algunos puntos. Esto sumado a la pésima condición de la costa provocada por la presencia de residuos sólidos, aceites y grasas lo convierte en un foco de contaminación para el resto de la costa del Departamento.

En particular, durante un estudio de la dinámica del agua en la bahía de Montevideo, efectuado a fines de 1991, se encontró una señal de tritio (trazador empleado para marcar el agua de la bahía) en el agua de la orilla de la playa Carrasco, a 15 Km de la boca de la bahía, antes de los tres días posteriores al marcado. (Plata, Kurucz, Suárez Antola y otros, 1992). Este hecho, así como resultados de otros estudios preliminares (incluyendo simulación digital del transporte) sugerían la existencia de una difusión de romplentes en una franja estrecha a lo largo de la costa, capaz de transportar contaminantes desde la desembocadura de la bahía en el Río de la Plata hasta las aguas del extremo este del Departamento de Montevideo.

El presente trabajo tuvo como finalidad confirmar esta hipótesis para lo cual se desarrollaron las tareas interdisciplinarias e interinstitucionales de campo, de laboratorio y de gabinetes que se describen a continuación.

4-METODOLOGIA

Para la realización de los trabajos de campo correspondientes, se utilizaron dos tipos de trazadores, uno químico: uranina y otro radiactivo: tritio. Las ventajas del tritio como trazador para este tipo de estudios son su no degradabilidad en períodos relativamente largos, compatibles con el tiempo de la experiencia y como aparece formando parte de una molécula de agua, el comportamiento de las moléculas de agua marcadas es idéntico al de las moléculas no marcadas. En cuanto a la uranina tiene la desventaja de degradarse en el tiempo bajo la acción de varios factores, principalmente la acción de la luz. Si se tratara de marcar un gran volumen de agua, caso de un estuario, la cantidad necesaria de esta sustancia sería muy grande, no justificándose su utilización debido a su costo. Teniendo en cuenta la sensibilidad del equipo de medida, se calculó necesario 12 Kg de uranina para la experiencia.

Interesa poder establecer, en caso de existir, un vínculo entre los comportamientos de ambos trazadores. En efecto, el seguimiento de los procesos de advección y dispersión de un

trazador directamente integrado a la molécula de agua (tritio) suministra información directa para evaluar el transporte de elementos conservativos y un marco de partida para evaluar el transporte y la degradación de elementos no conservativos. La uranina en conjunto con el tritio, permite una comparación cruzada de interés para planificar futuros estudios experimentales complementarios.

Fueron utilizados 100 curlos de agua tritiada y 12Kg uranina para el marcado

El procedimiento utilizado para el vertimiento de la uranina en el cuerpo receptor, fue el tradicional de diluirla previamente y luego verterla, operación que no presenta mayores dificultades operativas. En relación al tritio hubo que diseñar un dispositivo especial que denominamos "Rompedor de ampollas" (Ver fig.3), formado por dos caños de hierro (uno dentro del otro) de 3m de largo, finalizando en un depósito donde se coloca la ampolla a romper. Este sistema fue diseñado como un dispositivo de acción segura.

El punto de inyección de ambos trazadores, se seleccionó teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la primera campaña del proyecto "Isotopos en Hidrología".URU/8/007 del OIEA. En dicha campaña se observó una alta renovación de las aguas de la bahía (48 horas). El punto de inyección está ubicado a unos 500m de la boca de la bahía y a 100m al este del canal de acceso al puerto (se quiso evitar de esta forma la influencia del canal que provocaría pérdidas de trazador).

Se determinaron cinco transectas de 3 km de longitud en las playas: Ramirez, Pocitos, Honda, Verde y Carrasco; en cada una de ellas se distribuyeron en forma proporcional seis puntos de muestreo. (Ver fig. 4)

En cada transecta se colocó una boya en el extremo más alejado de la costa, desde ella y en forma perpendicular a la costa a distancias predeterminadas, se encontraban los demás puntos de muestreo.

La localización de la boya y demás puntos se realizaron mediante dos unidades de GPS con un error máximo de 30m

La metodología empleada para la extracción de muestras, debido que se trataba de 30 puntos y de una distancia total de más de 15 km, fue la de integrar en cada punto en profundidad.

Para esto se decidió utilizar una manguera plástica lastrada en su extremo inferior, cuyo diámetro interno se calculó a través del siguiente procedimiento.

La tensión superficial generada en tubos de pequeños diámetros se relaciona con la altura del ascenso capilar h a través de la fórmula:

$$h \approx \frac{4 \cdot \sigma \cdot \cos \alpha}{d \cdot t}$$

Donde: σ , tensión superficial, para agua limpia y temperatura normal $\approx 0,071$ N/m.

α , ángulo de contacto que representa la adhesión entre el agua y el tubo, $\alpha \approx 20^\circ$.

d , diámetro del tubo, a determinar.

h , altura capilar. (Se consideró la mayor profundidad de muestreo $h \approx 5$ m).

t , peso unitario del agua.

para estos valores se obtuvo un diámetro necesario, de $5,3$ mm.

El diámetro mínimo encontrado en el mercado fue de 10 mm, para el cual se obtiene, $h_{\max} \approx 2,6$ m. Para los puntos de mayor profundidad, las pérdidas de agua eran excesivas. Fue necesario entonces modificar el método de extracción de muestras: se obstruyó parcialmente el extremo inferior del tubo, reduciendo su diámetro, evitando fugas importantes de agua, y se colocó una cuerda adicional atada del extremo inferior del tubo plástico, con la finalidad de una vez sumergido este y tapado su extremo superior, tirar de ella levantado así la columna en su totalidad.

5-TRABAJO DE CAMPO

Tratándose de más de 15 km de costa a recorrer desde la primer transecta a la última, el total de muestras obtenibles por día dependía fundamentalmente de la embarcación disponible. Se contó básicamente con dos embarcaciones de características muy diferentes, una lancha de desembarco muy cómodo para trabajar, pero lenta, (se tardaba aproximadamente de 8 a 9 horas en extraer todas las muestras). Esta embarcación fue muy útil para el vertido de ambos trazadores por su seguridad y estabilidad y para los primeros días de muestreo cuando las distancias a recorrer eran cortas. La otra embarcación, era un pequeño yate de condiciones óptimas para este tipo de trabajo, pues desarrolla velocidades altas, lo cual permitió reducir casi a la mitad el tiempo de muestreo.

El marcado con uranina se realizó diluyéndola en un tanque de 200 litros y utilizando una manguera para su distribución. Cabe destacar que como se utilizó la uranina en forma de polvo y esta es muy volátil, se corrió peligro de contaminar los equipos, francos, etc, pudiendo interferir esta situación falseando las medidas.

La ampolla de 100 cl de agua triturada se colocó en el rompedor,

este se sumergió aproximadamente 2m y se procedió a romperla.

El primer día se muestreó solo la primera transecta a 5 Km del punto de inyección. El segundo día se muestreó hasta la segunda transecta. En ambos días se encontró uranina, se decidió entonces muestrear todas las transectas a partir de tercer día, debido a su rápido desplazamiento paralelo a la costa.

En cada punto de muestreo se realizaron las siguientes tareas:

- 1) extracción de muestras integrada en profundidad
- 2) lectura de posición, GPS
- 3) medidas de conductividad y temperatura

El volumen extraído en 1), se vertía en un recipiente, se mezclaba y se llenaban dos frascos de 50ml (uno para medición de uranina, otro para medición de tritio). En cada frasco se colocó un código donde se registraba hora, número de transecta, punto dentro de cada transecta y si era integrada en profundidad o puntual.

En algunas zonas donde se observó el mezclado de aguas de distinta conductividad, se extrajeron muestras de superficie de ambos lados y en la mezcla misma, para identificar el comportamiento de los trazadores.

6-TRABAJO DE LABORATORIO

Las muestras de uranina debidamente protegidas de la luz solar desde su extracción, fueron llevadas al laboratorio para su posterior análisis en el Fluorímetro. La ventaja de este trazador frente al tritio, es su rápida determinación. En efecto, algunas horas después de llegada la muestra al laboratorio se pueden tener resultados confiables de las medidas. Además, aunque en condiciones más desfavorables desde el punto de vista analítico, se puede realizar mediciones in situ a tiempo real.

La eficiencia del equipo de centelleo líquido utilizado para la medición del tritio, disminuye debido al contenido de sales disueltas en las muestras. Para salvar dicho inconveniente se optó por destilar todas las muestras, lo que retrasó cerca de un mes los resultados, pero mejoró notablemente la sensibilidad en las medidas.

PARTE EXPERIMENTAL.

6.1 URANINA

a) preparación de soluciones:

Los estándares se prepararon con agua procedente de cada una de las transectas indicadas antes de la inyección de uranina.

1) Solución madre:

Se disuelve 0.0100g de uranina llevando a volumen en matraz de 11.

2) Soluciones estandaros:

A partir de diluciones de la solución madre se preparan soluciones de concentraciones: 80,40 y 10 p/l (ppb).

3) Solución blanco:

Correspondiente a agua de cada una de las transectas extraída antes de la inyección de uranina.

b) Calibración del equipo:

Se efectuó siguiendo las indicaciones del manual para el caso en estudio.

Se comprobó la linealidad en el rango de medida utilizando el ajuste de la curva de calibración que proporciona el software del instrumento.

c) Análisis de las muestras

Se fijaron las condiciones de lectura de modo que el valor registrado correspondiera al promedio de valores durante 30 seg a intervalos de 1 seg, realizado esto en forma automática por el instrumento. Esto evita errores potenciales de lecturas fluctuantes en el tiempo.

Antes de iniciar las medidas se leen todas las soluciones estándares y blancos correspondientes, de modo de verificar las condiciones.

Luego se intercala la lectura de algún estándar cada 5 lecturas de muestras; las cuales se leyeron por duplicado en diferentes días.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS:

1) Las muestras M1 y M2 no mostraron valores detectables por el equipo, sin embargo, la embarcación se encontro encima de la mancha visible de fluorescencia.

Según las características de la uranina, esta es perceptible a concentraciones de hasta 20 ppb, valor que supera el límite de cuantificación del equipo que es de 10 ppb.

Esto muestra que al comienzo del experimento (al cabo de una hora) la uranina no está presente en la capa superior, por lo tanto el colorante tuvo que descender hasta capas más profundas, no habiendo tiempo suficiente para alcanzar la homogeneidad en la columna de agua. Esto se comprueba con experiencias de laboratorio.

2) Considerando los perfiles de conductividad de los días de muestreo se observa un salto marcando, situado en la mayoría de las

muestras a aproximadamente 3m de profundidad. Visto que el muestreo se realiza a no más de 3,5m de profundidad (siendo la total entre 5 y 10m), tomando una "columna" que se llena con agua de esa profundidad, hace que las lecturas de uranina no sean representativas del aporte del total de la distribución vertical del colorante. Si realmente se tomaran muestras en columna, los valores obtenidos se verían disminuidos. En efecto, el agua del estrato inferior es de elevada conductividad, lo que indica una entrada de agua oceánica libre de uranina. Tampoco es válido hacer un cálculo grosero de la cantidad de uranina en la franja analizada, ya que las muestras no son representativas del total del volumen de agua en cuestión. Por lo tanto se recomienda hacer una variación en el proceso de toma de muestras si se desean realizarlas en columnas representativas.

3) Tomando en cuenta las conclusiones anteriores se sugiere que la uranina viaja en una capa por encima del estrato de agua salada. (Lo que está de acuerdo con un principio básico de la fisicoquímica que manifiesta que la solubilidad de un compuesto orgánico disminuye apreciablemente al aumentar la concentración salina de las soluciones.)

4) Durante la fase de marea decreciente en el estuario, el flujo que circulaba hacia la zona donde se halla la Bahía de Montevideo encuentra una barrera, constituida por la escollera oeste (Ver fig.). El flujo generalmente se divide en dos. Una parte se deflecta y continúa en dirección al este, paralelamente a la costa, mientras que la otra parte se deflecta penetrando hacia el interior de la Bahía, como muestra la fig. Esta parte del flujo arrastra los importantes aportes de efluentes industriales y urbanos que recibe diariamente la bahía y sale finalmente por la boca de acceso situada entre la escollera oeste y la escollera Sarandí. Durante la fase de marea creciente generalmente se produce un desplazamiento global de masas de agua que probablemente sólo produce renovación en las masas de agua que se encuentran próximas a la boca de la bahía, sin al parecer el efecto descrito precedentemente durante la fase de marea descendente.

En consecuencia la experiencia realizada con uranina en condiciones de bajamar, a pesar de los mencionados errores de toma de muestras, continúa siendo muy útil desde el punto de vista de la simulación del proceso de transporte de contaminantes aportados por la bahía a las playas de Montevideo.

5) Dado que la Uranina se destruye por la luz solar (longitudes de onda corta) existiendo reportes de hasta un 50% de pérdida en 3 horas de exposición (Fouerstein, D.L., Sellik, R.E., Fluorescent Tracers for Dispersion Measurements, Journal of Sanitary Engineering, ASCE 89, 1-21 (1963)), si ésta viajara en la superficie no hubiera sido posible su cuantificación varios días después de su inyección. Nuevamente se confirma la hipótesis de

que la uranina se desplaza en una capa profunda protegida de la luz solar por las capas superiores de agua.

6) Naturalmente existen muchos materiales fluorescentes que tienen características similares a la uranina e interfieren con su medida. Pero cuando se utilizan filtros ópticos seleccionados cuidadosamente, se requerirían concentraciones más altas que las comunes y blancos fluorescentes más variables para alterar los resultados. En nuestro caso los blancos eran ceros al igual que muchas muestras, lo que descarta esta interferencia.

7) En cuanto al PH sería recomendable asegurarse que sus valores naturales se encuentren entre 6 y 10, ya que a PH 5,5 cae abruptamente la lectura.

8) Es de esperar resultados completamente diferentes con el tritio, debido a que al inyectarse como molécula de agua, facilita una rápida homogeneización en el sistema en forma de compuesto estable para los tiempos de experiencia utilizados. Con este compuesto se modelaría el comportamiento del agua de la Bahía de Montevideo, en cambio la uranina seguiría el curso de contaminantes de mayor peso molecular.

6.B TRITIO

La medición de la actividad de tritio en el agua tritiada (THO) se pensó efectuar en un comienzo sobre muestras filtradas en filtros de PVC (0,45µm) para eliminar el material en suspensión, a las que se le añadiría líquido de centelleo (picofluor Packard). Pero al investigador la relación entre eficiencia y conductividad (curva de calibración) se halló una pronunciada inestabilidad en la zona de conductividades elevadas. Allí la eficiencia aumenta apreciablemente con el paso del tiempo (Ver fig). No obstante, se advierte una zona estable entre 0 y 10mS/cm. Para poder situarse en ese intervalo de conductividades se decidió destilar por columna cada muestra. Se destiló la totalidad de las muestras obteniéndose conductividades comprendidas entre 15,5 S/cm y 8,76 mS/cm. Los viales preparados con picofluor fueron medidos y se comportaron en forma estable hasta siete días después de su preparación. Se intercalaron cada 25 viales, dos viales con estándares internos (patrones de THO) y dos viales con una solución "blanco" (destilada y con la concentración más baja encontrada en la medición de varias muestras tomadas antes de la inyección del trazador).

Se obtuvieron los resultados que muestra la tabla II adjunta (ver Apéndice 3).

7-RADIOPROTECCION

En este tipo de experiencias, donde se utilizan trazadores radiactivos para el estudio y evaluación de problemas hidrodinámicos y ambientales, es imperioso justificar plenamente la metodología empleada. A tales efectos se elaboro un informe en conjunto con la División de Radioprotección de la Dirección Nacional de Tecnología Nuclear, donde se evaluaron las ventajas y desventajas del método. En este caso la evaluación demostró que la tarea se encuentra plenamente justificada. (Ver Apéndice 1)

8-MODELIZACION Y SIMULACION DIGITAL DEL SISTEMA

La planificación de los experimentos con trazadores radiactivos involucró una fase previa de modelización y simulación digital de los procesos de transporte involucrados. Se tuvo en cuenta la estratificación vertical, la acción de los vientos, las profundidades y otras condiciones de la zona, todo esto en el contexto de un modelo en el que se define un piso difusivo para el transporte del trazador y luego se integra en profundidad. Se emplea un tensor de coeficientes de dispersión en el que aparecen parámetros relacionados con procesos advectivos no resueltos en la escala del modelo del sistema, tales como corrientes hacia y desde la costa (variables en profundidad y asociadas a los vientos). Los efectos debidos a las modificaciones en la profundidad se integraron en un término advectivo adicional. [(Suárez, Badano, Dellepère y otros, 1991)].

Para estimar la posición del piso difusivo se emplearon correlaciones clásicas entre el coeficiente de dispersividad vertical y el número de Richardson, calculando valores de orientación para este último en función de la profundidad, en base a estimaciones locales de la frecuencia de Brunt-Väisälä a partir de perfiles de salinidad y temperatura, y de valores de operación de la frecuencia de Kelvin-Helmholtz obtenida a partir de experiencias con biplanos.

9-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El agua de la Bahía de Montevideo circula a lo largo de una franja costera cuya anchura puede oscilar entre 1 y más de 5 kms., dependiendo de la zona, con la zona más estrecha situada a la altura de la saliente de Punta Carretas.

Los procesos de transporte son muy rápidos a lo largo de la costa: en dos días una partícula que parte próxima a la boca de la Bahía puede alcanzar la Playa Carrasco, a más de 15kms. de distancia.

La primera detección de tritio se efectuó a las 2 horas de ocurrida la pleamar siguiente a la inyección del trazador. En ese entonces, el agua marcada había llegado ya a la Playa Ramírez (transecta 1) con una concentración alta en un punto próximo a la costa. Al día siguiente, no se encuentra tritio en la transecta 2 (Playa Pocitos) ni en la zona más próxima a la costa de la

trayectoria 3. Pero se halla el trazador en la zona más alejada de la trayectoria 3 y en la trayectoria 4.

Como consecuencia, el efecto de las descargas locales de contaminantes es relativamente más importante allí respecto a otros puntos de la costa.

Los resultados de las medidas de conductividad del agua corroboran esta conclusión. En efecto, durante los días 24 al 28 de marzo de 1993, se produjo una invasión de agua de baja salinidad proveniente del Oeste. Durante ese tiempo, la conductividad en la Playa Pocitos no descendió a los valores tan bajos medidos en la Playa Ramírez (4 mS/cm) situada, respecto del flujo proveniente de Oeste, antes de la saliente de Punta Carretas.

A partir del día 28 se produjo una invasión de agua más salina, con conductividades mayores que 35 mS/cm.

La aparición de masas de agua de conductividades diferentes marchando en sentido opuesto y mezclándose con el agua marcada no llegan a producir una renovación apreciable del agua de la zona costera investigada, puesto que al final de esos procesos, el tritio siguió estando distribuido a lo largo de la costa, con concentraciones variables, más pequeñas, pero medibles sin dificultad.

Al parecer entonces, los fenómenos migratorios de la interfase entre agua dulce y agua salada que se producen en la zona costera del Departamento de Montevideo se caracterizan por un mezclado relativamente lento, con tiempos de permanencia comprendidos entre 5 y 10 días.

En suma, los resultados de la marcación con tritio del agua que sale de la Bahía indican claramente que, en las condiciones existentes durante la campaña, la mayor parte de la contaminación que se observa en las playas se debe al aporte del agua contaminada de la bahía. Además hay un cierto aporte debido a los vertidos que se efectúan en las mismas, en las zonas de agua relativamente atrapada.

La influencia que sobre la contaminación podría ejercer el emisario subacuático de Punta Carretas, en las playas de Montevideo, al parecer es muy pequeña, incluso despreciable en las condiciones en las que se efectuaron las experiencias. No obstante, son necesarios nuevos estudios para definir este punto y extender la aplicabilidad de la conclusión referente al rol de la Bahía en la contaminación de las playas.

Como consecuencia de este estudio se desprende que la escala de tiempo asociada a los procesos advectivo-dispersivos a lo largo de la costa del Departamento de Montevideo, desde la boca de la bahía hasta la playa Carrasco, es del orden de tres días.

Un elemento, que eventualmente sufra degradación (o muerte, en caso de microorganismos) pero cuya escala de tiempo sea de orden superior a la del transporte lo consideraremos como un elemento conservativo, a los efectos de esta línea de investigación. Como consecuencia un elemento de este tipo puede alcanzar el límite de las aguas costeras del Departamento de Montevideo, con un

decaimiento poco significativo.

En vista de la importancia de las conclusiones de este estudio, se recomienda continuar los trabajos emprendidos en dos direcciones. Desde el punto de vista teórico tendría interés el simular la evolución de la concentración promedio de un contaminante en la bahía, calculando la cantidad que es expulsada durante cada ciclo de marea. Esto podría emplearse como entrada a un modelo que represente el proceso de advección-dispersión a lo largo de la costa y permita estimar concentraciones para otros escenarios diferentes al que sirvió de marco a la campaña experimental que describimos.

Para ello es necesario prestar particular atención a los fenómenos de transporte en la boca de la bahía. Se puede obtener información valiosa, adicional, previa al desarrollo del modelo del transporte hacia y desde la bahía, a partir de mediciones con trazadores, biplanos y correntógrafos. Para ajustar parámetros pueden emplearse, además, los resultados experimentales obtenidos en la campaña de 1991 (Plata y otros, 1992).

Desde el punto de vista experimental convendría estudiar el comportamiento de las aguas residuales vertidas en la bahía por los arroyos Miguelote y Pantanoso.

Sería conveniente marcar con trazadores la desembocadura de estos arroyos. Los resultados obtenidos podrían compararse con los resultados que arroje una eventual simulación digital, basada en un software adecuado. La atención podría dirigirse entonces hacia la determinación de la función de influencia que relaciona un vertido de una sustancia en la desembocadura de los mencionados arroyos con la posterior presencia de dicha sustancia en la desembocadura de la bahía.

INDICE

- 1- Resumen
- 2- Objetivo
- 3- Descripción de la problemática
- 4- Metodología utilizada
- 5- Trabajo de campo
- 6- Trabajo de laboratorio
- 7- Radioprotección
- 8- Modelización y simulación digital del sistema
- 9- Conclusiones y recomendaciones
- 10- Bibliografía

Agradecimientos: Al Dr. Antonio Plata Bedmar, del Organismo Internacional de Energía Atómica, por haber asesorado a los autores y por su participación como experto extranjero y como elemento aglutinador del numeroso equipo de trabajo integrado por personas provenientes de diferentes organismos y con diferentes especialidades .

Al Lic. Roberto Bracco y la Dra. Cristina Ures de la Cátedra de Radioquímica de la Facultad de Química y a los integrantes de los Laboratorios de Radioanálisis y de Aplicaciones Agrícolas de la DNTN por su colaboración en las mediciones Nucleares, al Centro de Investigaciones Nucleares de la Universidad de la República, a la Dirección Nacional de Medio Ambiente del MVOT y MA, a la Dirección de Topografía del MOP , a la Fuerza de Mar de la Armada Nacional y a la Intendencia Municipal de Montevideo, por su inestimable colaboración en las tareas de campo.

Y a la Sta. Karina Oliveira paranta de la Escuela Superior de Comercio "La Blanqueada" por la ayuda en la transcripción del texto.

10-BIBLIOGRAFIA

- Disposición final de los efluentes de la ciudad de Montevideo. Engineering Science Int. Ltd, Intendencia Municipal de Montevideo 1972.
- Estudios para la 2 Etapa del Saneamiento de Montevideo. Camp Dresser y Mc Kee -Intendencia Municipal de Montevideo 1986
- Problemas en la ejecución de las grandes obras de Saneamiento. Ingos. L Crosignani, C. Ricci Ciudadagua 88 Montevideo.
- Reports and Studies, N 43 Coastal Modelling. IMO/FAO/UNESCO/WHO/IAEA/UN/UNDP. Joint group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution Gesamp. Viena 1991
- R. Suárez, A. Badano, A. Dellepene y otros "Metodología de Seguridad Radiológica en el Empleo de Trazadores Radiactivos en Estudios Hidrodinámicos e Ingeniería Ambiental" (II Congreso Regional de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear, Memorias, Vol II parte 1, pp 77-90 Zacatecas, Méjico, 1993.
- A. Plata, R. Suárez, A. Dellepene, y otros "Estudios de la Contaminación Costera de la Zona de Montevideo Mediante Técnicas de Trazadores" (Informe de Avance, Proyecto URU/8/007. O.I.E.A., Viena, junio de 1993)
- A. Plata, A. Kuruez, R. Suárez y otros "Dinámica del agua en la bahía de Montevideo" (Informe de Avance, Proyecto URU/8/007. O.I.E.A., Viena, mayo de 1992)