

INVESTIGACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUAS EN EL RÍO GUALEGUAYCHÚ MEDIANTE MODELACIÓN MATEMÁTICA

Julio Cardini, Alejandro Zabalett, Maria del Carmen García, Néstor Oliver, Daniel Mársico

Grupo de Estudio Contaminación del Río Uruguay (GECRU)
Universidad Tecnológica Nacional, Regional Concepción del Uruguay
Ingeniero Pereira 676 (CP 3260) TE/Fax: 03442425541 / 03442423803
e-mail: cardinij@dd.com.ar / zabaleta@frcu.utn.edu.ar

RESUMEN

Se han aplicado técnicas de **modelación** matemática de dispersión de contaminantes para representar las condiciones de contaminación medidas en inmediaciones de la ciudad de **Guauguaychú** (Entre Ríos), interpretar las causas de dicha **contaminación** y evaluar las situaciones más desfavorables que pueden ocurrir bajo condiciones fluviales y mareológicas adversas. Se elaboró un modelo unidimensional que representa todo el Río Uruguay desde Concordia (Salto Grande) hasta Nueva Palmira (Río de la Plata) así como el Río Guauguaychú y sus afluentes principales, utilizando el software MIKE 11 del Danish Hidraulyc Institute.

El tramo con mayor compromiso de la calidad de aguas es el correspondiente al Arroyo El Cura ya que debido a la descarga cloacal sin tratamiento frecuentemente el área se vuelve anóxica y el grado de contaminación bacteriana es muy elevado. Para representar la dispersión de los contaminantes a lo largo y lo ancho del Río Guauguaychú a partir del aporte del Arroyo El Cura, se ha programado e implementado un modelo matemático bidimensional de dispersión.

Normalmente, el aporte cloacal al ingresar al Río Guauguaychú es conducido hacia aguas abajo debido a la deriva neta provocada por los caudales fluviales, aunque en momentos de creciente mareológica puede retroceder hacia aguas arriba. Los estudios demostraron que las condiciones más riesgosas para el uso recreativo de los balnearios ubicados en la margen fluvial se producen cuando los caudales fluviales son bajos (situación normal del río), dado que una marea creciente rápida puede generar caudales ingresantes al río del orden de las decenas y aún superar el centenar de metros cúbicos por segundo. En esas situaciones, la contaminación cloacal puede recorrer durante algunas horas un área más o menos extensa del frente urbano según la intensidad de la creciente, afectando hasta unos 6 km aguas arriba con concentraciones de bacterias coliformes muy superiores a las aceptables para uso recreativo (decenas de miles de UFC/100ml).

Los muestreos analizados indican también que existe una cierta correlación entre el nivel de contaminación por coliformes fecales en todo el río y los caudales fluviales generados por precipitaciones sobre la cuenca de aporte, principalmente en la fase inicial de las crecientes fluviales, lo cual revela la presencia de fuentes difusas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MUESTREOS DE COLIFORMES FECALES EN RELACIÓN CON LAS CONDICIONES DEL RÍO GUALEGUAYCHÚ

El Grupo GECRU ha efectuado muestreos a lo largo del Río Gualeguaychú e inmediaciones en los días 12/07, 29/8 y 24/10 de 2001, en los siguientes puntos.

- 1- Arroyo El Cura: Laurel (descarga cloacal) - Medio - Desembocadura en Gualeguaychú.
- 2- Río Gualeguaychú (unos 18 Puntos a lo largo del curso).
- 3- Melgar (desagüe Planta de Tratamiento de Efluentes del Parque Industrial).

Adicionalmente, el 15/11 se efectuó un muestreo de tipo bidimensional del Río Gualeguaychú en inmediaciones de la desembocadura del Arroyo El Cura, así como tres puntos en este último curso, para verificar la distribución espacial de la contaminación inducida por la descarga cloacal. El mismo consistió en 18 muestras sobre el Río Gualeguaychú distribuidas en 6 perfiles (en cada uno en la margen derecha, centro del cauce y margen izquierda), más tres puntos sobre el Arroyo El Cura. Las mayores concentraciones se desarrollan sobre la margen derecha del río y aguas abajo del Arroyo El Cura, debido a que el flujo era netamente saliente (bajante) durante el muestreo. Los valores existentes aguas arriba del ingreso del Arroyo El Cura son del orden de 1.300 a 200 UFC/100ml, lo cual indica que el río ya viene con una carga de contaminación desde aguas arriba, lo cual es consistente con el hecho de que los caudales fluviales eran elevados (posible contaminación de origen pluvial). Por lo tanto, el nivel de base de la contaminación es del orden de 10^3 UFC/100ml, nivel que se encuentra también aguas abajo de la desembocadura del Arroyo El Cura, en la margen opuesta (margen izquierda).

Los niveles de contaminación medidos en el Arroyo El Cura son del orden de 0,5 Millones de UFC/100ml, aunque es muy probable que la descarga cloacal posea valores más elevados que no han sido detectados (puede existir dilución parcial y falta de homogeneidad en la contaminación en el arroyo).

Las condiciones del río para uso recreativo fueron notablemente mejores en el muestreo del mes de Julio que en los demás casos, con un número de coliformes fecales significativamente menor y un nivel de oxígeno disuelto más elevado. Se realizó la hipótesis de que ello puede estar relacionado con los caudales propios del Río Gualeguaychú. Durante el muestreo de Julio, con buena calidad de agua, el caudal fluvial era prácticamente nulo, por lo cual se puede asumir que la circulación en la zona de Gualeguaychú se produjo esencialmente por efecto mareológico (con ingreso de agua desde el Río Uruguay).

En cambio, durante el muestreo de fin de Agosto el caudal era del orden de $15 \text{ m}^3/\text{s}$, en la curva de recesión de una crecida previa, y la calidad de agua era mala, en términos de su aptitud para uso recreativo. Asimismo, durante el muestreo de Octubre se registró un caudal del orden de $100 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo la calidad de agua regular. Se desprende que existe una relación entre el grado de contaminación bacteriológica y el caudal fluvial, aunque la misma no es biunívoca, por lo que existen aportes por lluvias que arriban al área de la ciudad desde las cuencas del Río Gualeguaychú y del Arroyo Gualeyán, cuyo origen es materia de investigación. El aporte típico de bacterias coliformes totales por parte del agua pluvial es del orden de 8.000 NMP/100ml (Glynn, 1999) valor compatible con el aporte de coliformes fecales del orden de 10^3 NMP/100ml que ha sido detectado en el río tanto en mediciones del Grupo GECRU como del Programa Municipal RIO VIDA).

DESCRIPCION DEL MODELO UNIDIMENSIONAL MIKE 11

Para la simulación unidimensional del sistema fluvial se utiliza el Modelo MIKE 11, habiendo adquirido la UTN los módulos necesarios para el análisis hidrodinámico, de dispersión de contaminantes y de reacciones químicas para determinar la calidad de aguas.

MIKE 11 es un paquete de software desarrollado por el Danish Hydraulic Institute (DHI) para la simulación de flujos, calidad de aguas y transporte de sedimentos en ríos, redes de canales para riego y otros cuerpos de agua, simples o complejos. El Módulo Hidrodinámico (HD) es el núcleo del sistema MIKE 11 y es la base del resto de los módulos. El mismo resuelve las ecuaciones de conservación de la continuidad y la cantidad de movimiento integradas verticalmente, es decir, las ecuaciones de Saint Venant. La característica destacada del sistema MIKE 11 es la estructura modular integrada que permite realizar estudios de Transporte de sedimento cohesivo y no cohesivo, Hidrología, Advección-dispersión (utilizada en esta investigación) y Modelos para distintos aspectos de la calidad de aguas.

SIMULACION HIDRODINAMICA DE NIVELES Y CAUDALES PARA EL AÑO 2001

Durante el año 2001 se continuó con la realización de simulaciones de los niveles de agua mediante la aplicación de módulo hidrodinámico del modelo MIKE 11. El modelo brindó excelentes resultados en Concepción del Uruguay (ver Figura 1), mientras que existe una mayor dispersión entre los niveles medidos y simulados en Guleguaychú, lo cual probablemente se debe a la mayor influencia del viento en esta zona (no se dispone del dato de viento para realizar un mejor ajuste). No obstante, los mayores desvíos entre los valores medidos y simulados en Guleguaychú son del orden de 20 cm, lo cual no es significativo para el análisis que se está realizando.

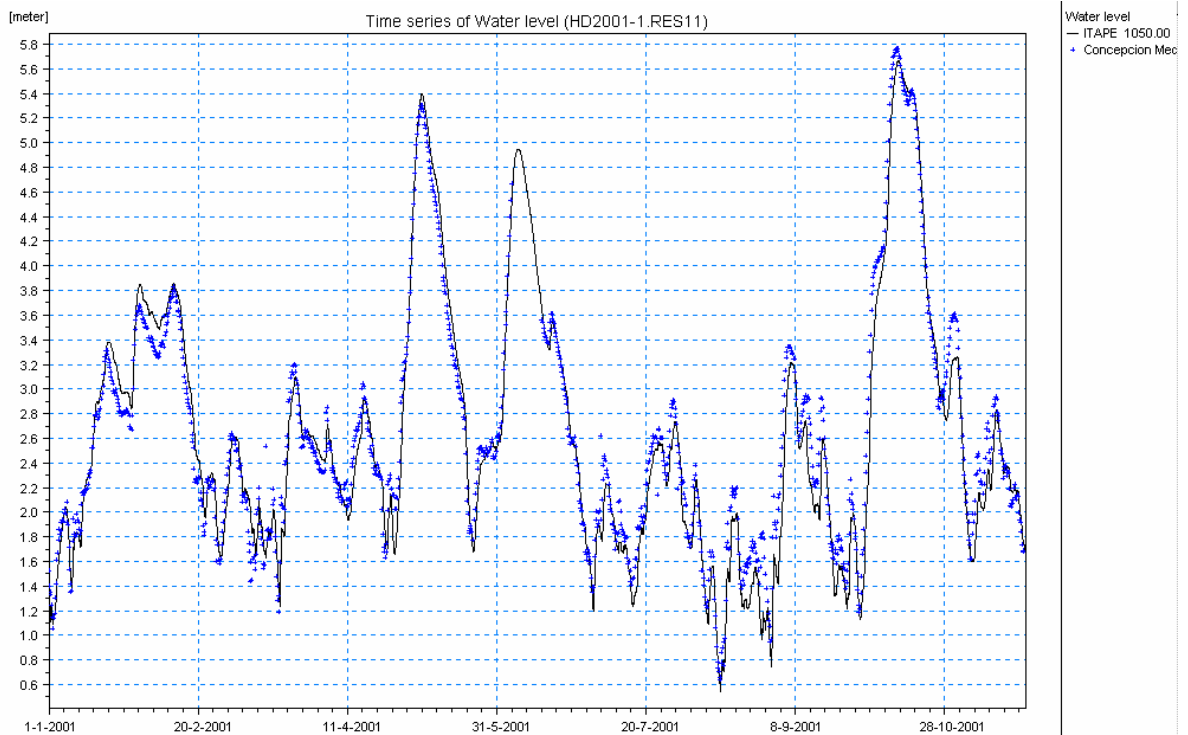


Figura 1 Niveles en el Río Uruguay durante el año 2001.
Concepción del Uruguay Medido (punto) -simulado (línea)

Para la simulación de las condiciones del río Gualeguaychú en las fechas de muestreo se realizó un ajuste de los caudales fluviales, utilizando como guía las velocidades de la corriente medidas a través del empleo de flotadores lastrados. En particular, con respecto al muestreo del 15 de noviembre de 2001 interesó lograr el ajuste de los caudales fluviales para estimar los parámetros a utilizar en la simulación bidimensional de las concentraciones alrededor de la zona de ingreso del Arroyo El Cura.

FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN EL ÁREA DE GUALEGUAYCHÚ

La descarga cloacal se efectúa al Arroyo El Cura y el caudal vertido puede estimarse por la capacidad de descarga de las bombas existentes. El caudal total Efluente estimado con base en la población servida es de unos 310 m³/hora en promedio. El efluente tratado (con Tratamiento Primario) es de sólo el 5% del total. Se adoptó para la simulación un caudal de descarga cloacal de 0,35 m³/s, debido a que la capacidad de bombeo máxima podría encontrarse en torno de este valor.

Además, debe considerarse que la variabilidad horaria del flujo cloacal en un municipio pequeño es tal que el caudal puede incrementarse hasta el 300% o reducirse al 30% del valor medio anual (Glynn, 1999). Deberá tenerse en cuenta entonces para valorar las simulaciones que se realizarán que en condiciones medias el caudal puede bajar a una tercera o cuarta parte del valor adoptado (a 0,1 m³/s o menor), con lo que se reduciría el impacto en la concentración en el río en igual proporción.

La descarga de la Planta de Tratamiento de Efluentes del Parque Industrial se vuelca a la Cañada de Sanchez, la cual aporta al Arroyo Gualeyán. El caudal pico estimado según informaciones recogidas en la Municipalidad es de 200 m³/h, siendo la media diaria de 80 a 100 m³/h, la cual se reduce a valores por debajo de los 30 m³/h en los fines de semana. Se adoptó para las simulaciones el valor máximo que equivale a unos 0,05 m³/s de efluente, con una concentración de coliformes fecales del orden de 100.000 UFC/100 ml (según surge de los datos medidos).

SIMULACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LA CONTAMINACIÓN

En primer lugar se simuló la condición del muestreo efectuado el 24/10/01 ajustando el caudal propio del Río Gualeguaychú hasta alcanzar con $Q_f = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ un acuerdo razonable entre los valores de velocidad medidos y simulados. Cabe mencionar que la influencia del mayor caudal fluvial en los niveles del río en Puerto Gualeguaychú es prácticamente despreciable (unos pocos cm), dado que los mismos están controlados por el nivel del Río Uruguay en la desembocadura.

Los niveles de coliformes fecales medidos el 24/10/01 en el Arroyo El Cura son del orden de 10.000 UFC/100ml, mientras que los valores medidos en el punto ubicado aguas abajo son de 350 UFC/100ml y aguas arriba oscilan alrededor de las 300 UFC/100ml.

Se realizó una simulación adoptando una concentración en la descarga cloacal de 3,5 millones UFC, en el orden de los valores típicos esperables. El resultado indica que la contaminación se desplaza únicamente en el sentido hacia aguas abajo, con una concentración del orden de 2.000 UFC/100ml. El orden de magnitud del impacto es razonable en relación con la dilución impuesta por el alto caudal fluvial en el momento del muestreo (unos 130 m³/s) en relación con el caudal cloacal adoptado (0,35 m³/s): $3.500.000 \times 0,35 / 130 = 9.000 \text{ UFC}/100\text{ml}$.

Sin embargo, este valor es claramente excesivo en relación con el medido (350 UFC/100ml). Esta diferencia no existiría si se tomara como concentración cloacal el orden de magnitud medido de 10.000 UFC/ml, ya que el impacto en el Río Gualeguaychú estaría en el orden de los 5 UFC/100ml sobre el nivel de base.

Se interpreta que las concentraciones relativamente altas de bacterias coliformes fecales existentes a lo largo de todo el curso fluvial no tienen como origen la descarga cloacal en el Arroyo El Cura. Tampoco puede ser efecto de la descarga del Parque Industrial donde se midió unos 10.000 UFC/100ml lo cual, diluido en la relación de descargas $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ (Parque) / $130 \text{ m}^3/\text{s}$ (río) implica un impacto inferior a 5 UFC/100ml. Aún si el aporte del Parque Industrial hubiera sido el máximo medido de 100.000 UFC/100ml, el impacto sobre el río no podría exceder como mucho los 40 UFC/100ml.

En consecuencia, teniendo en cuenta también que se ha medido una concentración bacteriana de 220 UFC/100ml en el Río Gualeguaychú aguas arriba del aporte del Parque Industrial por el Arroyo Gualeyán, se deriva que la contaminación procede desde aguas arriba del área de la Ciudad de Gualeguaychú, y que muy probablemente está asociada al aporte de origen pluvial que generó el alto caudal fluvial existente durante del muestreo.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL BIDIMENSIONAL DE LA CONTAMINACIÓN

Para la evaluación de la distribución espacial de la contaminación producida por la descarga cloacal de la ciudad de Concepción del Uruguay en el Brazo Secundario del Río Uruguay se aplicó un modelo matemático que resuelve la Ecuación de Convección - Dispersión Bidimensional en un flujo fluvial o de mareas. Se estimaron y ajustaron los parámetros del modelo para obtener una representación adecuada de la realidad medida el 15/11/01. Particularmente, de los ajustes realizados resultaron los coeficientes de dispersión longitudinal $E_x = 1,5 \text{ m}^2/\text{s}$ y transversal $E_y = 0,07 \text{ m}^2/\text{s}$. El coeficiente E_x tiene escasa influencia en el resultado, mientras que el E_y es determinante para el ajuste, habiéndose realizado análisis de sensibilidad en el rango de hasta $0,7 \text{ m}^2/\text{s}$.

Cabe mencionar que para ajustar el modelo se debió reducir el coeficiente de dispersión transversal respecto de las estimaciones inicial basadas en criterios habituales de relación entre E_y y E_x , debido a que de acuerdo a las mediciones no hay un impacto detectable de la descarga cloacal en el centro del cauce (los valores medidos están dentro del grado de variabilidad posible de las concentraciones de base de 1.000 UFC/100ml).

Ello implica que la contaminación se traslada en forma paralela a la margen con una penetración lenta en el cauce fluvial, por lo que tarda mucho en homogeneizarse en la sección transversal.

Se realizó luego una simulación bidimensional de la marea meteorológica ocurrida el 26/10/01, a partir de los parámetros estimados mediante la operación del modelo MIKE 11, que se ilustran en las Figuras 2 y 3. La duración del evento (inversión de velocidades) se estimó en 9 horas, con una velocidad media de la corriente (invertida) de $0,16 \text{ m/s}$.

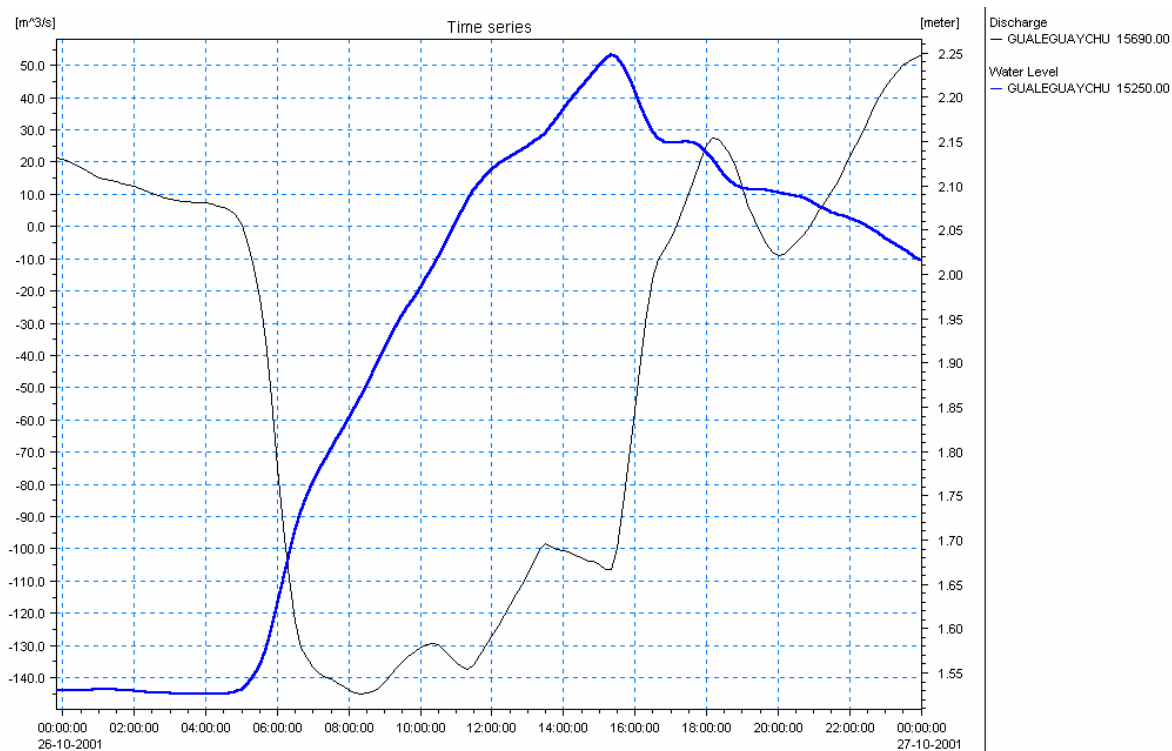


Figura 2 Nivel (línea fina) y Caudal (línea gruesa) del Río Gualeguaychú para una condición de rápida marea creciente

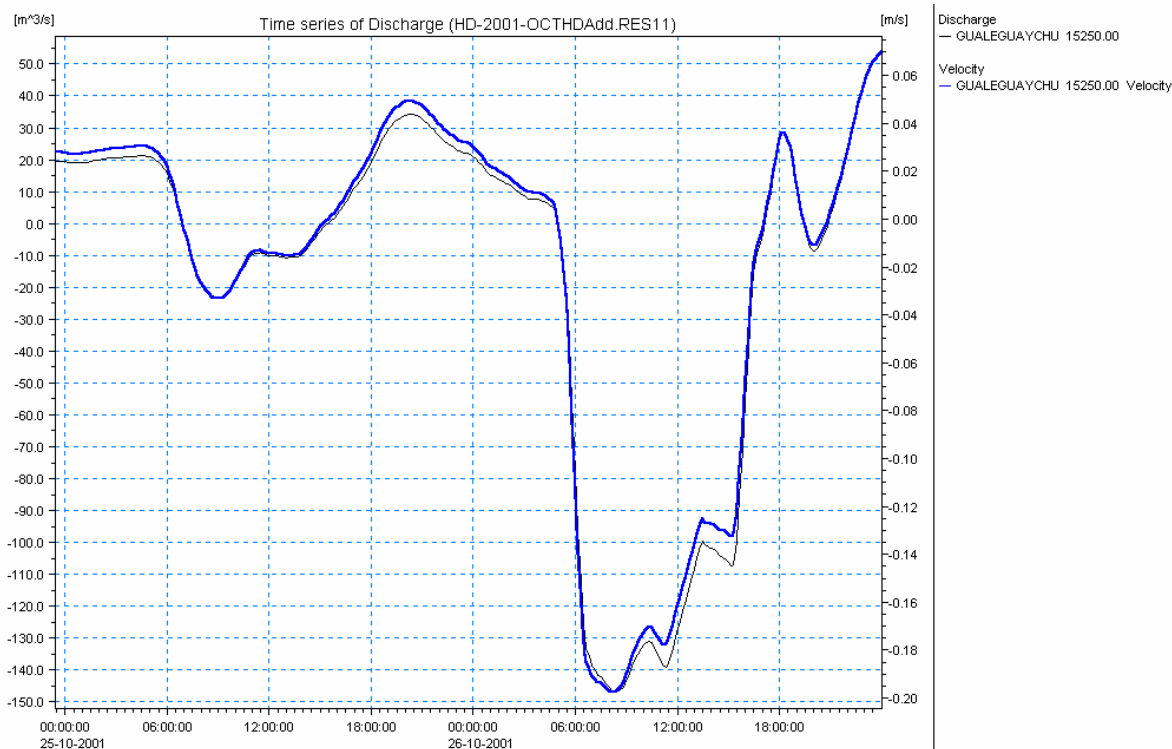


Figura 3. Velocidad (línea gruesa) y Caudal (línea fina) del Río Gualeguaychú para una rápida marea creciente

En tales condiciones, las concentraciones de coliformes fecales en el tramo del Río Gualeguaychú ubicado aguas arriba de la Desembocadura del Arroyo El Cura se presentan en la Figura 4 en forma bidimensional.

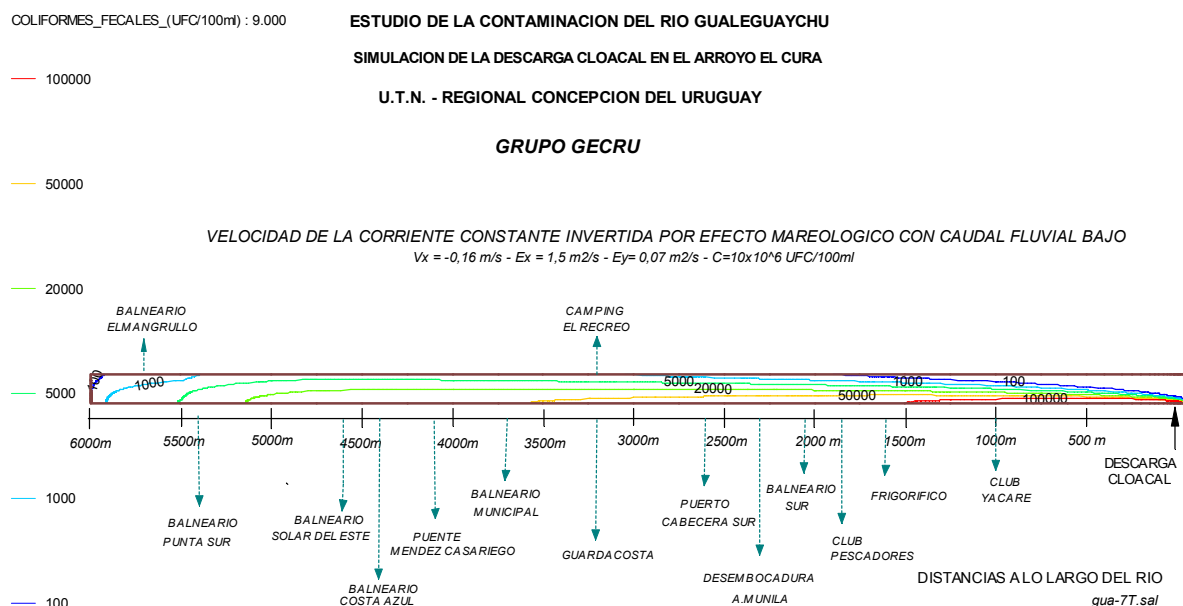


Figura 4. Avance de la contaminación hacia aguas arriba por efecto mareológico

Se puede apreciar que el impacto del evento es muy alto en toda la costa de la margen derecha, alcanzando todos los balnearios en una distancia de casi 6 km con concentraciones entre 10.000 y 100.000 UFC/100ml.

Este resultado es consistente con lo determinado para las concentraciones medias en la sección del río mediante la aplicación previa del modelo unidimensional. La margen izquierda del río sería menos afectada, aunque se podrían alcanzar concentraciones superiores a los valores admitidos para uso recreativo en las menores áreas de balneario ubicadas en la misma.

CONCLUSIONES

Como resultado de los estudios de modelación matemática efectuados, puede concluirse que el tramo con mayor compromiso de la calidad de aguas es el correspondiente al Arroyo El Cura ya que debido a la descarga cloacal sin tratamiento frecuentemente el área se vuelve anóxica y el grado de contaminación bacteriana es muy elevado.

Normalmente, el aporte cloacal al ingresar al Río Gualeguaychú es conducido hacia aguas abajo debido a la deriva neta provocada por los caudales fluviales, aunque en momentos de creciente mareológica puede retroceder hacia aguas arriba. Las condiciones más riesgosas para el uso recreativo de los balnearios de la ciudad (especialmente los ubicados en la margen derecha del río) se producen cuando los caudales fluviales son bajos, dado que una marea creciente rápida puede generar caudales ingresantes al río del orden de las decenas y aún superar el centenar de metros cúbicos por segundo. En esas situaciones, la contaminación cloacal puede recorrer durante algunas horas un área más o menos extensa del frente urbano con concentraciones de bacterias coliformes muy superiores a las aceptables para uso recreativo (decenas de miles de UFC/100ml), pudiendo alcanzar en condiciones extremas hasta la altura del Puente Internacional de la Ruta 136.

Ello implica que hasta que no se efectúe algún tratamiento al efluente cloacal la población estaría expuesta a un riesgo cierto de contaminación, bajo una combinación de condiciones fluviales y mareológicas desfavorables. Presumiblemente los balnearios ubicados en los primeros 2 o 3 kilómetros aguas arriba del Arroyo El Cura serían los más frecuentemente expuestos a la contaminación cloacal por crecientes mareológicas o meteorológicas en condiciones de estiaje.

Cabe mencionar que según los registros de caudales del Río Gualeguaychú en la RP39, en un 80% del tiempo los mismos son inferiores a $10 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo cual aún cuando no se dispone de registros de caudales a la altura de la ciudad de Gualeguaychú, puede estimarse que las condiciones de "estiaje" para las cuales la influencia mareológica es determinante son habituales para este río. Ello significa que el riesgo de contaminación de los balnearios por marea creciente es una situación "normal" en la zona bajo estudio, por lo que el río puede pasar rápidamente de tener una calidad de agua excelente (como en el muestreo del 12/07/01) a una condición no aceptable en pocas horas. Resulta importante implementar una etapa de tratamiento del efluente cloacal previo a su vertido. El aporte de contaminación bacteriana de la Planta de Tratamiento del Parque Industrial de Gualeguaychú no tendría un impacto significativo sobre el río homónimo, aún en condiciones de estiaje con caudales mínimos.

Por otro lado, los muestreos analizados indican con cierta claridad que existe una correlación entre el nivel de contaminación por coliformes fecales y los caudales fluviales generados por precipitaciones sobre la cuenca de aporte. Los datos disponibles son escasos para establecer conclusiones firmes, pero se puede estimar que las condiciones más desfavorables se producen luego de una precipitación local aún con caudales moderados (posiblemente debido al "lavado" de áreas contaminadas y el consiguiente transporte de los contaminantes hacia el río). En cambio cuando la crecida está en su condición pico con caudales elevados o en la curva de recesión de la misma con caudales descendentes, la contaminación no sería tan elevada, aunque puede encontrarse en el límite de lo aceptable para actividades recreativas.

BIBLIOGRAFÍA

J. Glynn Henry, Gary W. Heinke (1999) *Ingeniería Ambiental*. Prentice Hall, 2ª Edición, México