



## Caracterización bacteriológica y simulación con Visual Plumes en la descarga del emisario submarino de Gandía en la costa valenciana

### Bacteriological characterization and simulation with Visual Plumes in the marine outfall discharge of Gandía in the valencian coast

Alina E. Pascual Barrera

*Departamento de Tutoría y Doctorados, Universidad Internacional Iberoamericana-UNINI, México*

**Autor de correspondencia:** [alina.pascual@unini.edu.mx](mailto:alina.pascual@unini.edu.mx)

**RESUMEN**— La creciente demanda turística y el aumento de la contaminación en las zonas costeras exigen la realización de estudios muy precisos que consideren el uso de modelos numéricos capaces de simular el comportamiento de los agentes químico-biológicos en el medio y de cumplir con la normativa ambiental correspondiente. Tal es el caso del modelo Visual Plumes, el cual ha sido utilizado para simular la pluma del vertido procedente del emisario submarino de Gandía, en la costa valenciana. Para determinar la distribución espaciotemporal de la calidad bacteriológica del agua de mar en la zona del vertido, y en las playas cercanas al área de influencia, se realizaron una serie de medidas de campo en este emisario, cuyos resultados fueron evaluados dentro del marco de la Directiva Europea sobre política del agua que se encontraba vigente al momento de realizar las campañas. Los resultados indican que el contenido de coliformes fecales en la zona del vertido es superior al valor obligatorio (2000 UFC/100 ml), mientras que, en las playas cercanas al área de influencia, las concentraciones son inferiores a dicho valor, con algunos puntos que superan el valor guía (100 UFC/100 ml) establecido por la Directiva. Con la simulación numérica se determinó la dilución en la zona del campo cercano y la concentración de bacterias coliformes fecales y enterococos en la zona de playas fueron menores a los límites señalados en la normativa, estableciendo una simulación ideal con una dilución más alta y una menor concentración de bacterias en esta zona.

**Palabras clave**—Agentes químico-biológicos, campo cercano, Directiva Europea, emisario submarino.

**ABSTRACT**— The increasing tourist demand and the increase of the pollution in the coastal zones demand the realization of very precise studies that consider the use of numerical models capable of simulating the behavior of the chemical-biological agents in the environment and of complying with the corresponding environmental regulations. Such is the case of the Visual Plumes model, which has been used to simulate the plume of the spill from the submarine outfall of Gandía, on the Valencian coast. To determine the spatio-temporal distribution of the bacteriological quality of the seawater in the discharge area, and on the beaches near the area of influence, a series of field measurements were made in this outfall, whose results were evaluated within the framework of the European Directive on water policy that was in force at the time of campaigning. The results indicate that the content of fecal coliforms in the discharge area is higher than the mandatory value (2000 CFU / 100 ml), while, on the beaches near the area of influence, the concentrations are lower than this value, with some points that exceed the guide value (100 CFU / 100 ml) established by the Directive. With the numerical simulation the dilution was determined in the near field area and the concentration of fecal coliform bacteria and enterococci in the beach area were lower than the limits indicated in the regulations, establishing an ideal simulation with a higher dilution and a lower concentration of bacteria in this area.

**Keywords**— Chemical-biological agents, European Directive, near field area, marine outfall.

## 1. Introducción

Hoy en día, una herramienta útil para el diseño y estudio de los efectos que causan los vertidos al mar es la simulación numérica, la cual, debido a la creciente demanda turística y el aumento de la contaminación en las zonas costeras exige la realización de simulaciones muy precisas capaces de representar el comportamiento de los agentes químico-biológicos en el medio y de cumplir con la normativa ambiental correspondiente.

Generalmente en zonas costeras, la alternativa de descarga más común es el vertido mediante un emisario submarino. Si este vertido presenta un alto contenido de agentes biológicos, será importante desarrollar técnicas de modelado que consideren la región del campo cercano (CC), es decir, la zona de mezcla inicial, ya que las bacterias presentan una tasa de decaimiento muy rápida en los ambientes marinos y solo una parte podría permanecer activa cuando comience el campo lejano

**Citación:** A. Pascual, "Caracterización bacteriológica y simulación con Visual Plumes en la descarga del emisario submarino de Gandía en la costa valenciana," *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 14, no. 2, pp. (24-28), 2018.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 28 de febrero de 2018. **Recibido con correcciones:** 16 de agosto de 2018. **Aceptado:** 16 de octubre de 2018.

**Copyright:** 2018 A. Pascual. Apellido. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

(CL), también llamada región de dispersión pasiva, y sus características comienzan a ser menos importantes.

Esta es la situación que se presenta actualmente en el litoral valenciano, localizado al este de la península Ibérica y uno de los principales destinos turísticos del Mediterráneo, en donde la calidad de sus aguas ha sido considerada un indicador medioambiental para la caracterización de las zonas de baño. Sin embargo, las grandes cantidades de agua residual que se generan durante la época estival, debido a la creciente demanda turística y las actividades recreativas en la zona, y que son vertidas a través del emisario submarino, se han convertido en un problema de magnitud considerable.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos a partir de una serie de medidas de campo y simulación numérica realizados en la pluma del vertido del emisario submarino de Gandía, localizado en la costa de Valencia, España. Los datos simulados corresponden a la caracterización bacteriológica que fue determinada en esta zona a través de un estudio experimental donde se analizaron los procesos físicos, geoquímicos y biológicos involucrados en la dinámica de los ambientes costeros y la calidad del agua. Igualmente, se especifica la importancia en la selección del modelo Visual Plumes 1.0 [1], un modelo analítico de distribución libre recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency, USEPA) que puede simular plumas de contaminantes que alcanzan la superficie. En este caso, el modelo fue empleado para determinar la dilución en la zona del campo cercano en la pluma del vertido del emisario submarino, garantizando una mayor dilución y, sobre todo, el cumplimiento con la Normativa Europea para la calidad de las aguas de baño.

## 2. Área de estudio

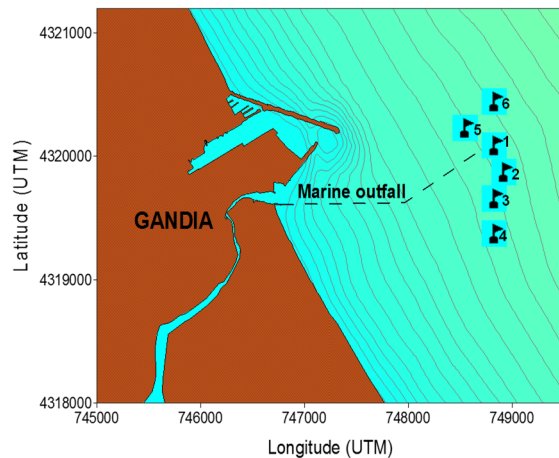
Este trabajo se ha realizado en la zona de influencia del emisario submarino de Gandía, caracterizada por ser una zona con un ambiente micro mareal altamente influenciado por la descarga del emisario submarino, con comportamiento dependiente de la estación del año, ya que, durante el verano, con el aumento del turismo y las actividades recreativas se generan grandes cantidades de agua residual urbana que es descargada por esta vía al ambiente marino/costero.

Por este emisario submarino se descarga agua residual previamente tratada (tratamiento primario y secundario) a una distancia aproximada de 2000 m de la costa y a una profundidad aproximada de 17 m. Es un emisario que no

presenta orificios difusores y la descarga se realiza por un solo orificio de salida.

## 3. Campañas de muestreo

Se realizaron 5 campañas de campo a lo largo de las diferentes estaciones del año, con puntos de muestreo distribuidos en la zona de influencia del vertido del emisario (figura 1) para obtener la caracterización bacteriológica del agua de mar y determinar la influencia que pudiera tener en la zona de las playas.



**Figura 1.** Estaciones de muestreo en la zona de influencia del emisario de Gandía.

Las muestras de agua fueron analizadas para determinar los diferentes grupos bacteriológicos (coliformes fecales y enterococos), utilizando el método de filtración por membrana [2]. Los resultados se expresan en unidades formadoras de colonias por cada 100 ml de muestra (UFC/100 ml).

La calibración y validación del modelo se realizó con datos de campo. Los datos meteorológicos fueron obtenidos con una estación meteorológica colocada en el puerto de Gandía, mientras que los datos de corrientes se obtuvieron a partir de un correntímetro Doppler (ADCP) fondeado a 18 m de profundidad. Las profundidades que se consideraron fueron 0, 0.5, 1, 5, 10, 15 y 18 m. La frecuencia de muestreo fue de 10 minutos, con un período total de 42 horas y las unidades de velocidad son cm/s.

## 4. Resultados y Discusión

Los resultados correspondientes a la caracterización bacteriológica del agua de mar se presentan en la tabla 1, con los valores máximos para los diferentes parámetros

analizados. Una explicación más amplia de las campañas realizadas ha sido documentada en diferentes estudios llevados a cabo en la zona [3, 4, 5, 6, 7, 8].

**Tabla 1.** Valores máximos de bacteria coliformes

| Campañas               | Coliformes Fecales* | Coliformes Totales* | Enterococos* |
|------------------------|---------------------|---------------------|--------------|
| Gandía I (abril)       | 6500                | 16000               | 183          |
| Gandía II (julio)      | <b>95000</b>        | 150000              | 2800         |
| Gandía III (noviembre) | ND                  | 116000              | 480          |
| Gandía IV (mayo)       | <b>9000</b>         | 14000               | 310          |
| Gandía V (mayo)        | 1400                | 1800                | 47           |

\*UFC/100 ml; ND=no detectados

Las concentraciones de bacterias coliformes fecales (CF), totales (CT) y enterococos (E) fueron comparados con el valor establecido por la Directiva Europea para aguas de baño que se encontraba vigente durante las campañas (Directiva de Consejo 76/160/CEE y el Real Decreto 734/1988) [9]. Los resultados se compararon con el valor obligatorio y guía que establece esta Directiva para aguas de baño (tabla 2). Por lo tanto, a pesar de que los alrededores del punto de la descarga no se consideran como zona de aguas de baño, esta comparativa se realiza para tener una referencia de los niveles de contaminación en las inmediaciones del vertido.

Como puede observarse en la tabla 1, los valores máximos de coliformes fecales se determinan en las campañas de los meses de julio y mayo, con valores muy por encima de los permitidos por la normativa europea.

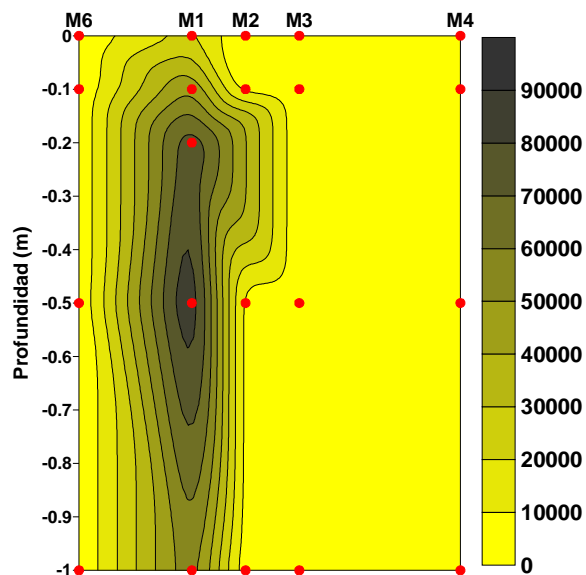
**Tabla 2.** Valores obligatorio y guía según la Directiva Europea para aguas de baño

| Bacterias    | Directiva Europea |      |
|--------------|-------------------|------|
|              | Obligatorio       | Guía |
| C. Fecales*  | 2000              | 100  |
| C. Totales*  | 10000             | 500  |
| Enterococos* | 100               | 200  |

\*UFC/100 ml

Para la campaña del mes de julio, las concentraciones más altas de coliformes fecales se determinaron en la estación señalada como M1 (figura 2), la cual presenta la

mayor influencia del vertido, siendo a la profundidad de 0.5 m, ligeramente por debajo de la superficie, donde se determinan valores de 95000 UFC/100 ml.



**Figura 2.** Distribución vertical de coliformes fecales en la campaña del mes de julio en Gandía.

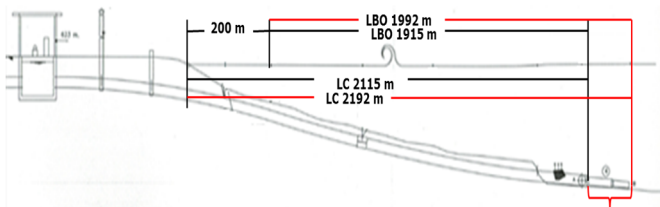
Los valores en M2 (160 – 780 UFC/100 ml) y M3 (78 – 420 UFC/100 ml) también exceden los valores de la normativa, debido, probablemente, a que se encuentran localizadas cerca de la zona de influencia de la descarga, mientras que en M4 (63 – 80 UFC/100 ml), M5 (8 – 31 UFC/100 ml) y M6 (16 – 28 UFC/100 ml) los valores son más bajos y no exceden estos límites. En el caso de los enterococos, solo en la estación M1 las concentraciones son superiores a los límites de la normativa, con un rango de valores de 1900-2600 UFC/100 ml, mientras que en los otros puntos las concentraciones no exceden estos límites.

Para la campaña del mes de mayo, con estaciones marcadas como H1-H6, las concentraciones de bacterias coliformes fueron más bajas que los valores encontrados en la campaña de julio. Las estaciones H6 (120 – 1400 UFC/100 ml), H1 (8 – 1600 UFC/100 ml) y H2 (22 – 630 UFC/100 ml) son las que presentaron los valores más altos para estas bacterias, debido a que están localizadas en la zona de mayor influencia del vertido que proviene del emisario submarino. También, estos valores son superiores al valor guía recomendado por la Directiva Europea.

Finalmente, las concentraciones de enterococos solo fueron determinadas en H1 (4- 36 UFC/100 ml), H2 (2 – 34 UFC/100 ml) y H6 (3 – 47 UFC/100 ml), con valores que no exceden los límites recomendados por la Directiva Europea para este tipo de bacterias.

La calibración del modelo considera el ajuste de los datos numéricos con los datos de campo, por lo tanto, se toman los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y los valores de corrientes necesarios para la simulación, con la finalidad de asegurar una dilución mayor de 100:1 en el momento en que la pluma alcanza la superficie.

Para verificar que se cumplan los objetivos de calidad de las aguas de baño definiendo la zona a proteger, que en este caso es la zona de la playa, se establece, considerando lo establecido en la Instrucción de Vertidos al Mar [10], una distancia de 200 m desde la costa hacia mar adentro como zona de baño, y considerando la longitud del emisario, se plantea como límite exterior de la zona de baño una distancia de 1915m y un límite costero de 2115m. Este dato es introducido al modelo esperando obtener, en estas zonas, la menor concentración de bacterias patógenas que cumplan con los valores establecidos en la legislación (figura 3).



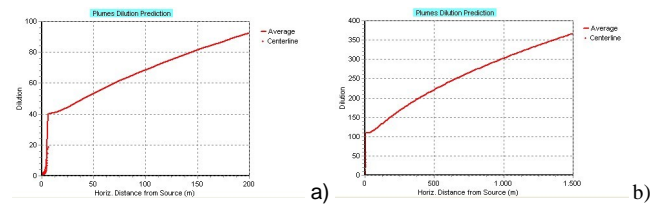
**Figura 3.** Límites para la zona de baño. LBO= Límite exterior de la zona de baño; LC= Límite costero.

Tomando en cuenta que el emisario submarino no presenta orificios difusores ni tampoco un tramo difusor, se establece una simulación a manera de comparar los resultados obtenidos con el Caso Real (CR) con una nueva simulación que incluya un tramo difusor con 25 orificios difusores, con la finalidad de observar una mayor dilución en la pluma del vertido. Esta simulación fue nombrada Caso Ideal (CI). Los resultados de estas simulaciones se observan en la tabla 3, mientras que en la figura 4 se observan los gráficos de dilución que alcanza la pluma del vertido.

**Tabla 3.** Resultados obtenidos en la simulación del Caso Real y Caso Ideal con coliformes fecales y enterococos

|                            | Caso Real | Caso Ideal |
|----------------------------|-----------|------------|
| Dilución media de la pluma | 40.26     | 108.6      |
| Conc. de Colif. Fecales*   | 9000      | 3297.9     |
| Conc. de Enterococos*      | 280       | 101.8      |

\*UFC/100 ml



**Figura 4.** Dilución al alcanzar la superficie para la simulación del Caso Real (a) y Caso Ideal (b).

Al incluir un tramo difusor con 25 orificios difusores, la dilución es mayor comparada con el Caso Real, así como también disminuye la concentración de bacterias en superficie.

## 5. Conclusiones

Durante el verano la costa valenciana incrementa su población al ser uno de los principales destinos turísticos en el Mediterráneo, ocasionando el aumento en el volumen de agua residual que es descargado al mar a través de los emisarios submarinos, convirtiéndose en un problema de magnitud considerable.

La concentración de coliformes fecales en el área de influencia de la descarga del emisario de Gandía son imperativamente más altas que los valores que recomienda la Directiva Europea para calidad de las aguas de baño.

Los análisis de calidad de agua y simulación numérica realizados en la zona del vertido del emisario submarino de Gandía permitieron evidenciar que la introducción de agua residual en esta zona somera, con hidrodinámica suave y diferentes condiciones de vertido, generan una serie de afecciones significativas a corto-medio plazo sobre este ecosistema costero.

Con el modelo Visual Plumes, se obtuvieron concentraciones de bacterias coliformes fecales y enterococos en la zona de playas, menores a los límites que establece la normativa para aguas de baño, siendo que la simulación del Caso Ideal (CI) presentó la dilución más alta y la menor concentración de bacterias en esta zona. Por lo tanto, esta simulación se puede establecer

como una alternativa de mejora para el diseño y el vertido del emisario submarino de Gandía.

## 6. Referencias

- [1] Frick, W.E., Roberts, P.J.W., Davis, L.R., Keyes, J., Baumgartners, D.J., George, G.P., (2001). "VISUAL PLUMES MANUAL: "Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes)". Environmental Research Division, NERL, ORD. U.S. Environmental Protection Agency.
- [2] APHA (1998) Standard Methods for the examination of water and waste water American Public Health Association. 874pp.
- [3] Pascual A., (2013). Estudio numérico – experimental de la dispersión de efluentes de emisarios submarinos en la costa valenciana. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- [4] Mösso, C., Cateura, J., Sierra, J.P., Cupul, L., González-Marco D. and Puigdefábregas, J., (2004). Campañas de Campo ECOSUD. Informe de Vientos, Corrientes y Calidad del Agua. Report LIM/AHC-04-02, 45 pp.
- [5] Mösso C., Sierra J.P., Mestres M., Cupul L., Falco S., Rodilla M., Sánchez-Arcilla A. and González del Río J. (2005). Topography Influence on the Wind-Induced Hydrodynamics in Cullera Bay. Journal of Coastal Research, Special Issue.
- [6] Mösso, C., Sierra, J.P., Mestres, M., Cupul, L., Falco, S., Rodilla, M., Sánchez-Arcilla, A., and González del Río, J., (2007). The Influence of Topography on Wind-induced Hydrodynamics in Cullera Bay. Journal of Coastal Research, SI (47), 17-30. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.
- [7] Mestres M., Sánchez-Arcilla A., Sierra J.P., Mösso C., González del Río J. and Rodilla M. (2004). Basis and tools for a sustainable development of estuaries and coastal areas. A case of study from Cullera Bay. Management of Environmental Quality: An International Journal, 15(1), 25-32.
- [8] Falco, S., Hermosilla, Z., Romero, I., Martínez, R., Sierra, J.P., Mösso, C. and Mestres, M., (2007). Spatial and Temporal Patterns of Water Quality in Cullera Bay. Journal of Coastal Research, Special Issue (47), 41-47. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.
- [9] Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 2006/7/CEE, de 15 de febrero de 2006 relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE Diario Oficial de la Unión Europea L 64/37.
- [10] Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales, (2011). Análisis de herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental. Secretaria de Estado de Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Abril, 2011.