

ESTIMACION NUMERICA Y EXPERIMENTAL DE LA DISPERSIÓN DE  
BTX EN LOS ALREDEDORES DE UN SITIO CLAUSURADO DE  
DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLUIDOS

Mario A. Gandini Ayerbe <sup>a,b</sup>, Santiago Lain Beatove <sup>a,b</sup>, Brian Quintero  
Arboleda <sup>a</sup>.

<sup>a</sup> Grupo de Investigación en Mecánica de fluidos.

<sup>b</sup> Departamento de Energética y Mecánica, Universidad Autónoma de Occidente.

---

**RESUMEN**

El presente artículo tiene por objetivo la descripción de las rutas de transporte y la estimación numérica de las concentraciones de benceno, tolueno y xileno -BTX-, en los alrededores de un sitio de disposición final de residuos sólidos cuya fase de operación concluyó el 2008, y que se encuentra rodeado de zonas urbanas habitables. El sitio de disposición final corresponde al Basurero de Navarro (BN), el cual se encuentra ubicado en Santiago de Cali, Colombia. Se realizaron mediciones de BTX en zonas cercanas al BN durante dos periodos del año 2009 y el 2010, cada uno de diez semanas, empleando muestreadores pasivos en diferentes receptores. La estimación numérica se realizó empleando ISCT-3 y la Dinámica Computacional de Fluidos -CFD- -ANSYS® CFX™- para predecir la dispersión de los BTX en los alrededores del BN. El modelado emplea datos de la emisión de contaminantes del BN, la información meteorológica de su área de influencia y la topografía de la zona. Las diferencias encontradas entre los resultados obtenidos con ISCT-3 y CFD se deben a la dispersión turbulenta de los contaminantes en los alrededores del BN y al modelado de la fuente de emisión de área empleada en el ISCT-3. Las concentraciones de BTX estimadas en los receptores cercanos al BN son bajas en comparación de las medidas en la fuente e inferiores a los límites establecidos en las normas nacionales. Además, los valores de concentración de BTX calculados numéricamente en los receptores son muy inferiores a los valores monitoreados experimentalmente. Este hallazgo sugiere la existencia de una contaminación de fondo en los receptores cuya fuente difiere del BN para los BTX.

---

**INTRODUCCIÓN**

Ante la preocupación por cuantificar los impactos ambientales asociados a prácticas inadecuadas de la disposición final de residuos sólidos, el presente trabajo apunta a la modelación numérica de la dispersión de ciertos contaminantes atmosféricos (BTX) originados en uno de estos sitios. La estimación del impacto se realiza al encontrar experimentalmente los niveles de concentración o de exposición de los habitantes de las cercanías del Basurero de Navarro (BN) ubicado en Santiago de Cali, Colombia, y predecir las concentraciones empleando ISCT-3 y la dinámica computacional de fluidos -CFD-. Lo anterior permite estudiar la dispersión y sus respectivos campos de concentraciones en el ambiente de los contaminantes emitidos por el basurero. En este caso el BN se ha constituido en una preocupación creciente para la salud pública debido al desconocimiento del impacto en la calidad del aire de los habitantes de las cercanías al mismo y su posible efecto en la salud de las personas. EL BN estuvo en operación hasta el 2008, operando continuamente durante 42 años.

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

El propósito de este artículo es cuantificar los niveles de exposición a gases contaminante como los BTX, determinar su variación espacio temporal y definir si el sitio de disposición final representa un riesgo para los habitantes de las cercanías. El resultado principal de este estudio es que el BN tiene un impacto muy bajo en la calidad del aire al comparar las concentraciones predichas por el ISCST3, la CFD con las concentraciones medidas y los límites definidos.

### METODOLOGÍA

#### Área de estudio

Las mediciones de las concentraciones de BTX y de parámetros ambientales - direcciones y velocidades del viento- se realizaron en dos periodos. El primer periodo se realizó desde el primero de Agosto hasta el 15 de Septiembre de 2009 y el segundo desde el 22 de Febrero al 5 de Abril de 2010. El relleno está ubicado en Santiago de Cali, Colombia en las cercanías de cuatro barrios densamente poblados. Recientemente han comenzado a desarrollarse proyectos de vivienda en distancias menores a dos kilómetros a la redonda. Como se sabe de otros estudios la distancia mínima para disminuir el riesgo de aparición de alguna enfermedad es de dos kilómetros, el cual en nuestro caso de estudio no se cumple. Como se ha dicho esta es una de las razones que han motivado el desarrollo del presente trabajo. El relleno tiene una extensión menor a los 800 [m<sup>2</sup>]. Nuestra área de estudio - Fig. 1- corresponde a cuatro kilómetros a la redonda, los cuales cubren los barrios El Vallado, Ciudad 2000, Senderos del Lili y el área propia del relleno.

La climatología en Santiago de Cali es variable durante todo el año caracterizándose por épocas seca y de lluvias. Se emplearon estaciones de monitoreo para definir el comportamiento del viento en las zonas de los alrededores del basurero, las cuales se ilustran en la Fig. 2.



Fig. 1. Relleno sanitario abandonado de estudio. Ubicación del lugar de deposición en Santiago de Cali, Colombia. 1 Antiguo Cerro 2. Zona de transición. 3. Lagunas de lixiviados.

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

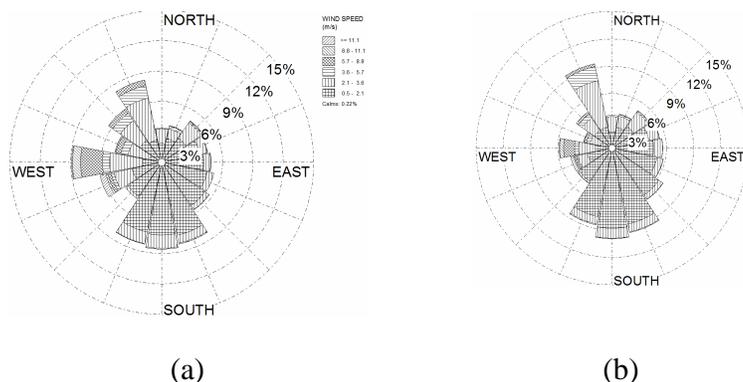


Fig. 2. Rosa de vientos del comportamiento general del viento. (a) Periodo seco. (b) Periodo de lluvias.

### Emisiones de BTX del Relleno al aire de los alrededores

Para aproximar los valores de emisión de los gases provenientes del relleno se utilizó el modelo de cálculo LANDGEM desarrollado por la EPA. El modelo estima el caudal de emisiones de metano,  $Q_{CH_4}$ , en un año a partir del incremento de un año,  $i$ , de la diferencia entre el año de cálculo y el año inicial de aceptación de los residuos,  $n$ . Igualmente a partir del incremento cada 0.1 años,  $j$ , el índice de generación de metano,  $k_m$ , la generación potencial de metano,  $L_0$ , la masa de metano depositado en el  $i^{\text{th}}$  año,  $M_i$ , y la edad de la  $j^{\text{th}}$  sección de masa depositados en el año  $M_i$ ,  $t_{ij}$ . Dicho modelo se presenta a continuación.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{j=0.1}^1 k_m L_0 \left( \frac{M_i}{10} \right) e^{-k_m t_{ij}} \right\} \quad (1)$$

Después de obtenido el caudal se determina los diferentes valores de benceno, tolueno y xileno. Los valores de emisión empleados para la modelación de dispersión empleando ISCT3 y ANSYS® CFX™ tuvieron valores de Benceno, Tolueno y Xileno de 2.0 [g s<sup>-1</sup>], 36 [g s<sup>-1</sup>] y 2.9 [g s<sup>-1</sup>] respectivamente.

### Calidad del aire

Para contaminantes gaseosos como los BTX existen niveles de exposición permisibles para que no existan riesgos de aparición de enfermedades para las personas expuestas a estos contaminantes. En la Tabla 1 se presentan los niveles máximos determinados por instituciones como la EPA, la OMS, el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de los estados unidos (NIOSH) para benceno, tolueno y xileno. Dichos límites se comparan con los medidos experimentalmente y calculados numéricamente con el objeto de evaluar la calidad del aire en las cercanías del relleno sanitario.

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

Tabla 1. Niveles Máximos Permisibles de BTX a nivel internacional.

Institución	Benceno	Tolueno	Xileno
EPA (Promedio anual)	20 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	20 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	100 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]
OMS (Prom. 24 horas)	7.5 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	7,5 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	[-]
OSHA (Prom. 8h/día )	3 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	3 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	6 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]

### Modelado de la calidad del aire empleando ISCST3

La simulación numérica de la dispersión de los contaminantes gaseosos producidos por el BN se llevó a cabo con el modelo Industrial Source Complex Short Term (ISCST3) desarrollado por la EPA de los Estados Unidos de América. Para realizarla el ISCST3 requiere datos meteorológicos asociados a la velocidad y dirección del viento, emisiones de los contaminantes de interés en la fuente, entre otros para los dos periodos del 2009 y 2010. La información de los datos de entrada de velocidad, comportamiento y dirección del viento corresponde al año 2007 y fue suministrada por el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (CENICAÑA). Por otro lado la Fig. 3 presenta el dominio de cálculo empleando ISCST3 para estimar la dispersión de contaminantes. En dicha figura el rectángulo con un área de 28000 [ $\text{m}^2$ ] representa fuente de área de emisiones para la montaña de basura.

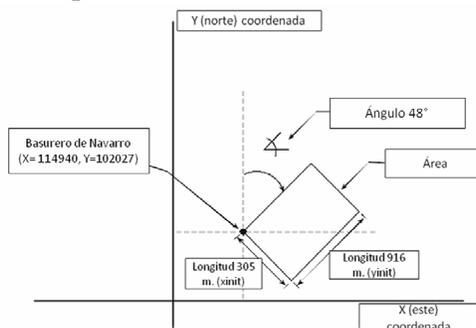


Fig. 3. Modelo de análisis para la simulación numéricas empleando el ISCST3.

En el modelo del ISCST3 el cálculo de la dispersión debido a una fuente de area depende del la emisión por unidad de area,  $Q_a$ , la velocidad del viento,  $U$ . Igualmente depende de la distancia  $(y - y_r)$  y los coeficientes de dispersión transversal a la dirección del viento y el vertical los cuales se presentan a por la siguiente ecuación.

$$C(x, y, z) = \frac{Q_a}{\pi U} \iint_S \frac{1}{\sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{(y - y_r)^2}{2\sigma_y} \right\} dx dy \quad (2)$$

La interacción de cada uno define la concentración,  $C$ , del contaminante en un punto en el espacio en las cercanías al basurero.

**Modelado de la calidad del aire empleando CFD**

Para estimar la calidad del aire empleando la CFD es necesario definir el dominio de estudio, las condiciones de frontera, los parámetros de la simulación, resolver la ecuación de transporte escalar para el contaminante, realizar análisis de sensibilidad y analizar los resultados. El modelado del aire turbulento y la dispersión del contaminante se basan en las ecuaciones promediadas de Reynolds Navier-Stokes - RANS- y el modelo de turbulencia estándar  $k-\epsilon$ . Se adiciona la ecuación del transporte escalar para obtener la concentración,  $\rho C_i$ , de cada uno de los contaminantes emitidos por el relleno.

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left( \rho u_j C_i - \frac{\mu_t}{Sc_t} \frac{\partial C_i}{\partial x_j} \right) = S_c \quad (3)$$

En la ecuación (3)  $Sc_t$  es el número de Schmidt, con un valor de 0.9 [-],  $S_c$  es termino fuente y  $\mu_t$  es la viscosidad turbulenta, la cual se estima como  $\mu_t = \rho C_\mu (k^2/\epsilon)$ .

Estudios realizados sobre arreglo de cubos han mostrado deficiencias del modelo de turbulencia  $k-\epsilon$ , sin embargo como menciona M Parra et al. (2010) el modelo  $k-\epsilon$  puede emplearse para la simulación de dispersión atmosférica como un buen compromiso entre precisión y tiempo de cálculo.

***Dominio de estudio y condiciones de frontera***

Como se ha mencionado el estudio se realizo en los alrededores de un sitio de disposición final en un radio de cuatro kilómetros a la redonda en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia. La zona se caracteriza por tener edificios y casas con alturas medias de 9 metros y pocas líneas de tráfico de vehículos. Dentro de las condiciones de frontera se consideran valores de entrada de velocidad y datos de salida del aire a la atmosfera. Las condiciones de velocidad asumen la variación horaria del viento durante diez semanas comprendidas entre los meses de Febrero, Marzo y Abril de 2009.

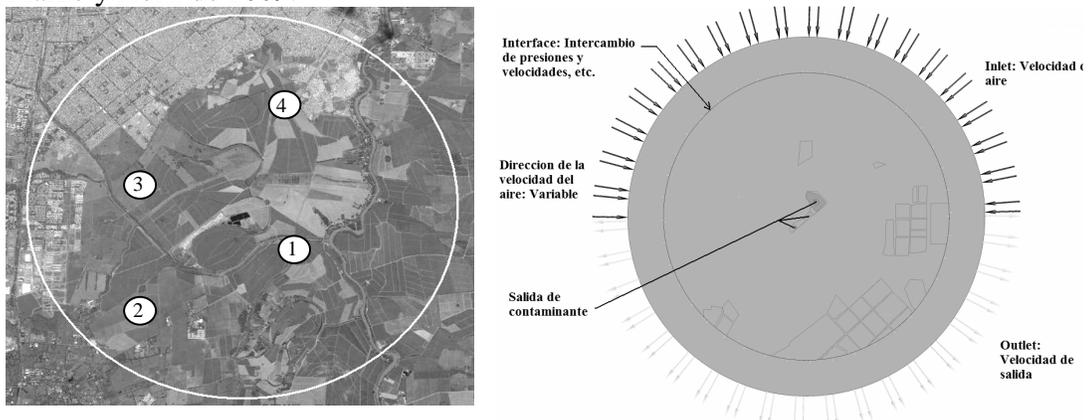


Fig. 4. Zona de estudio de la calidad del aire. (a) Vista en planta de muestreadores pasivos. 1. Emisión de contaminantes desde el relleno. (b) Dominio computacional

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

Por otro lado, en la discretización del dominio se emplearon mallas no estructuradas debido a la complejidad del terreno y por la automatización el proceso de generación de la malla. El dominio está formado por  $2 \times 10^6$  volúmenes de control. Dentro de las condiciones de frontera se consideran valores de entrada de velocidad y datos de salida del aire a la atmósfera. Las condiciones de velocidad asumen la variación horaria del viento durante diez semanas comprendidas entre los meses de Febrero, Marzo y Abril de 2009. Las condiciones de salida definen que el aire sale a la misma velocidad que entra (Fig. 4) - zona Inlet- y - Outlet -. Para el presente análisis los COV's -Benceno, Tolueno y Xileno- salen con una velocidad,  $V$ , de  $0.05 \text{ [m s}^{-1}\text{]}$  desde el BN en la zona de Salida de contaminante de la (Fig. 4) con una concentración,  $C$ , similar a la medida.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados de la estimación numérica y experimental de la dispersión de BTX en los alrededores de un sitio clausurado de disposición final de residuos sólidos. Los resultados corresponden a las variaciones de las concentraciones promedios semanales para cada uno de los contaminantes gaseosos emitidos por el BN. Dichas variaciones corresponden a los valores medidos experimentalmente y los calculados con ISCST 3 y la CFD en los puntos de monitoreo. Los receptores corresponden al punto de muestro de BN, Lili, Morichal, Caney, Ciudad 2000 y El Vallado. Igualmente se presenta la concentración promedio durante las diez semanas estudiadas en cada uno de los periodos analizados. Además se presenta unos resultados donde se correlaciona los valores cálculos con CFD y ISCST3 mediante gráficos de igualdad. Partiendo de los datos de emisión de la montaña se logró estimar la dispersión de los BTX en los alrededores del BN los cuales permitieron asociar un nivel de concentración de un contaminante con un posible riesgo sanitario a la salud de las personas. En ninguno de los casos las personas de los barrios monitoreados están expuestas a concentraciones mayores a las permitidas debidas a la emisión de BTX de la montaña. Igualmente al comparar los valores calculados con los medidos a través de los muestradores pasivos se logró encontrar que no existe una relación directa entre lo emitido por la montaña y lo medido en los diferentes barrios. Lo anterior significa que el BN no tiene un impacto significativo en la calidad del aire de las personas de las cercanías del relleno. Además se estimó los valores promedios de la concentración de los BTX en los puntos de monitoreo para cada periodo. Estos valores se presentan en la Fig. 5 y Fig. 6. Como se pudo observar los valores predichos mediante los métodos numéricos son inferiores a los valores medidos. Lo anterior afirma la teoría de la existencia de otras fuentes impactando en la calidad del aire en los alrededores del basurero en cada uno de los periodos.

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

Tabla 2. Valores de la concentración promedio en el periodo uno para los BTX. Arriba, Benceno. Centro, Tolueno. Abajo, Xileno.

Semana	BN			Lili			Moricalhal			Caney			C2000			Vallado		
	Exper.	ISCT3	CFD															
1	0.89	9.24	3.752	0.88	0.05	0.021	1.24	0.29	0.030	2.33	0.04	0.014	1.13	0.19	0.026	3.64	0.23	0.057
2	0.88	8.83	2.792	1.14	0.10	0.044	1.00	0.19	0.032	1.05	0.06	0.030	2.98	0.08	0.028	1.87	0.29	0.048
3	0.90	9.18	3.801	0.94	0.11	0.035	1.10	0.32	0.043	1.06	0.12	0.027	1.10	0.05	0.040	1.89	0.09	0.062
4	1.03	9.24	2.849	1.03	0.02	0.093	1.30	0.46	0.042	0.88	0.05	0.023	1.22	0.12	0.040	1.86	0.11	0.049
5	1.47	9.40	3.108	0.78	0.05	0.029	1.03	0.17	0.053	0.73	0.04	0.017	0.97	0.09	0.054	1.41	0.13	0.059
6	0.65	9.41	3.623	0.80	0.06	0.054	1.09	0.29	0.064	0.98	0.05	0.036	0.98	0.11	0.055	1.39	0.24	0.058
7	0.63	10.67	3.028	0.92	0.17	0.038	1.33	0.34	0.035	0.96	0.04	0.028	1.11	0.09	0.037	2.05	0.10	0.054
8	0.57	9.12	3.043	0.83	0.07	0.037	1.48	0.23	0.039	0.79	0.10	0.027	1.04	0.06	0.037	1.34	0.18	0.057
9	0.84	9.09	3.528	0.80	0.08	0.060	1.13	0.16	0.044	0.78	0.08	0.041	1.13	0.07	0.040	3.40	0.18	0.056
10	0.97	9.95	3.645	0.76	0.06	0.057	1.02	0.11	0.046	0.97	0.11	0.039	1.17	0.09	0.041	1.29	0.19	0.070
<b>Prom.</b>	<b>0.883</b>	<b>9.413</b>	<b>3.317</b>	<b>0.888</b>	<b>0.077</b>	<b>0.047</b>	<b>1.172</b>	<b>0.256</b>	<b>0.043</b>	<b>1.053</b>	<b>0.069</b>	<b>0.028</b>	<b>1.283</b>	<b>0.095</b>	<b>0.040</b>	<b>2.014</b>	<b>0.174</b>	<b>0.057</b>

Semana	BN			Lili			Moricalhal			Caney			C2000			Vallado		
	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD
1	4.57	235.69	20.259	2.33	1.68	0.113	4.93	6.82	0.160	9.75	1.57	0.076	9.75	6.13	0.142	280.06	7.88	0.306
2	2.46	229.79	15.077	3.18	2.85	0.235	5.04	4.96	0.171	5.77	1.64	0.162	5.77	2.14	0.153	65.09	7.69	0.259
3	16.80	238.71	20.523	3.36	3.09	0.187	5.81	8.46	0.229	2.34	3.20	0.147	2.34	1.36	0.216	6.15	2.41	0.334
4	83.00	240.43	15.383	2.80	0.77	0.178	4.20	11.98	0.225	3.32	1.47	0.121	3.32	3.32	0.214	5.19	3.09	0.262
5	7.92	244.63	16.784	2.46	1.51	0.155	2.84	4.47	0.287	1.82	1.10	0.094	1.82	2.44	0.289	9.32	3.44	0.321
6	1.36	244.83	19.558	1.94	1.62	0.286	3.54	7.56	0.343	12.64	1.34	0.193	12.64	2.97	0.293	6.44	6.33	0.306
7	1.74	277.43	16.350	2.68	4.44	0.207	3.97	9.09	0.189	3.25	1.18	0.152	3.25	2.44	0.197	63.73	2.81	0.290
8	1.34	237.17	16.433	2.70	1.96	0.201	29.54	6.03	0.213	2.66	2.78	0.144	2.66	1.63	0.201	4.81	4.77	0.310
9	1.59	239.25	19.050	2.19	1.58	0.323	3.33	7.36	0.234	2.06	1.58	0.220	2.06	1.68	0.215	62.06	8.68	0.298
10	2.05	238.41	19.685	2.57	1.95	0.310	3.46	8.48	0.250	3.44	2.02	0.211	3.44	2.65	0.220	7.27	5.84	0.377
<b>Prom.</b>	<b>12.283</b>	<b>242.634</b>	<b>17.910</b>	<b>2.621</b>	<b>2.145</b>	<b>0.220</b>	<b>6.666</b>	<b>7.521</b>	<b>0.230</b>	<b>4.705</b>	<b>1.788</b>	<b>0.152</b>	<b>4.705</b>	<b>2.676</b>	<b>0.214</b>	<b>51.012</b>	<b>5.294</b>	<b>0.306</b>

Semana	BN			Lili			Moricalhal			Caney			C2000			Vallado		
	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD
1	3.63	19.03	10.504	3.61	0.13	0.058	9.18	0.55	0.083	16.49	0.12	0.040	7.66	0.49	0.074	288.96	0.63	0.159
2	3.18	18.56	7.818	3.20	0.23	0.122	5.20	0.40	0.089	4.68	0.13	0.084	330.07	0.17	0.080	35.36	0.62	0.135
3	10.76	19.28	10.642	6.98	0.24	0.097	6.52	0.68	0.119	3.29	0.25	0.076	19.27	0.11	0.112	6.63	0.19	0.174
4	16.57	19.41	7.976	4.51	0.06	0.093	4.29	0.96	0.117	3.34	0.11	0.063	10.76	0.26	0.111	6.66	0.24	0.136
5	5.00	19.75	8.703	11.07	0.12	0.080	4.10	0.36	0.149	2.85	0.08	0.049	14.25	0.19	0.150	8.23	0.27	0.166
6	1.83	19.77	10.142	3.96	0.13	0.149	4.74	0.61	0.178	7.76	0.10	0.100	12.34	0.24	0.152	6.25	0.51	0.159
7	2.41	22.40	8.478	3.76	0.35	0.107	5.57	0.73	0.098	7.03	0.09	0.079	40.73	0.19	0.102	37.95	0.22	0.150
8	1.87	19.15	8.521	4.73	0.15	0.104	18.38	0.48	0.111	5.49	0.22	0.075	32.12	0.13	0.104	5.28	0.38	0.161
9	1.94	19.02	9.878	3.05	0.19	0.168	4.55	0.85	0.122	3.16	0.09	0.114	7.39	0.11	0.112	30.29	0.69	0.155
10	2.81	18.65	10.207	3.18	0.21	0.161	4.56	0.89	0.129	5.47	0.15	0.109	7.28	0.56	0.114	5.92	0.18	0.196
<b>Prom.</b>	<b>5.000</b>	<b>19.502</b>	<b>9.287</b>	<b>4.805</b>	<b>0.114</b>	<b>0.114</b>	<b>6.709</b>	<b>0.651</b>	<b>0.120</b>	<b>5.956</b>	<b>0.134</b>	<b>0.084</b>	<b>48.187</b>	<b>0.245</b>	<b>0.111</b>	<b>43.153</b>	<b>0.393</b>	<b>0.159</b>

Igualmente se estimaron numéricamente las concentraciones de los BTX en los alrededores del BN para los dos periodos. La Tabla 2 también presenta los valores encontrados para cada contaminante empleando el ISCST3 y la CFD. Como se puede observar en la tabla también existen diferencias entre lo calculado por cada uno de los métodos. Existen dos razones principales para explicar sus diferencias la primera está asociada a las formas de modelar la emisión tanto en el ISCST3 y la CFD. Mientras en la CFD la emisión se concentró en tres áreas, en el ISCST3 se hizo sobre un área equivalente a toda la montaña. La anterior diferencia hace que el modelo del ISCST3 transporte más contaminantes que el modelo de CFD, el cual empleo áreas más pequeñas. La disminución del transporte en la CFD se debe entonces a una mayor dispersión lateral causada por la diferencia entre los tamaños entre los métodos. Otra razón por la cual se encuentra diferencias entre el ISCST3 y la CFD es en la determinación de la viscosidad turbulenta,  $\mu_t$ . El ISCST3 emplea un modelo conocido como longitud de mezcla para determinarla mientras la CFD emplea el modelo  $k - \epsilon$ . En ese modelo de mezcla la longitud, la cual sirve para determinar de forma explícita la viscosidad turbulenta, es estimada de forma experimental a partir de datos de

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

temperatura. En el caso de la CFD se asumen valores de turbulencia para calcular la viscosidad turbulenta, por lo cual es plausible que los parámetros para determinar la viscosidad en el modelo  $k - \epsilon$  no sean apropiados para la zona de estudio. Lo anterior plantea la necesidad de estimar parámetros asociados a la turbulencia cuando se realicen cálculos de CFD en el área de dispersión atmosférica. Dichos parámetros van a alimentar las condiciones de frontera en el modelo de CFD, incluso plantear, estrategias para modificar el modelo en el interior del dominio.

Finalmente la 6 y 7 presenta los resultados de distribución espacial de la concentración promedio horaria de cada una de las semanas en los diferentes periodos de estudio. En la figura se aprecia variaciones de la concentración entre 0 y 2.5 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]. Como es de esperarse la distribución de la concentración promedio sigue la distribución promedio de la velocidad presentado en la Fig. 2 durante ese periodo de estudio. Igualmente se puede apreciar valores de concentración considerables si mantiene en promedio durante todo el año dentro del relleno.

Tabla 3. Valores de la concentración promedio en el periodo dos para los BTX. Arriba, benceno. Centro, Tolueno. Abajo, Xileno.

Semana	BN				Lili				Morichal				Caney				C2000				Vallado			
	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD
1	0.10	2.35	3.158	0.87	0.01	0.044	1.27	0.03	0.044	1.14	0.01	0.028	1.40	0.02	0.045	1.47	0.04	0.064						
2	2.88	2.34	3.021	0.79	0.02	0.048	2.05	0.06	0.048	1.00	0.01	0.031	1.49	0.02	0.055	1.80	0.01	0.060						
3	0.97	2.31	3.307	0.90	0.02	0.046	0.21	0.05	0.046	1.23	0.01	0.031	1.23	0.03	0.045	1.15	0.04	0.071						
4	0.82	2.40	3.605	0.83	0.00	0.042	1.47	0.03	0.042	1.06	0.01	0.030	1.29	0.01	0.039	1.54	0.05	0.075						
5	0.92	2.52	2.976	0.97	0.01	0.025	1.69	0.05	0.025		0.01	0.017	1.27	0.01	0.025	1.27	0.04	0.052						
6	0.74	2.26	2.992	0.78	0.01	0.044	1.23	0.04	0.044	0.75	0.01	0.028	1.06	0.02	0.034	1.14	0.03	0.060						
7	2.89	2.38	2.737	0.82	0.01	0.043	1.14	0.07	0.043	0.98	0.01	0.029	1.04	0.01	0.034	1.43	0.03	0.046						
8	0.73	2.17	3.014	0.79	0.00	0.023	1.18	0.05	0.023	1.23	0.00	0.014	1.06	0.02	0.032	1.55	0.04	0.068						
9	0.55	2.39	3.638	0.67	0.01	0.044	0.98	0.06	0.044		0.01	0.029	1.25	0.02	0.046	0.94	0.05	0.069						
10	0.74	2.43	3.645	0.12	0.01	0.057	1.47	0.07	0.057		0.02	0.039	1.94	0.03	0.041	1.89	0.03	0.070						
<b>Prom.</b>	<b>1.134</b>	<b>2.355</b>	<b>3.209</b>	<b>0.754</b>	<b>0.010</b>	<b>0.042</b>	<b>1.387</b>	<b>0.051</b>	<b>0.042</b>	<b>1.056</b>	<b>0.010</b>	<b>0.028</b>	<b>1.303</b>	<b>0.019</b>	<b>0.040</b>	<b>1.418</b>	<b>0.036</b>	<b>0.064</b>						
Semana	BN				Lili				Morichal				Caney				C2000				Vallado			
	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD
1	0.16	56.63	17.052	2.03	0.45	0.238	6.92	0.89	0.214	3.14	0.42	0.151	4.92	0.60	0.241	5.00	0.99	0.345						
2	37.18	56.42	16.313	1.62	0.57	0.257	7.34	1.50	0.317	8.20	0.39	0.167	4.86	0.66	0.298	5.19	0.35	0.324						
3	2.31	55.65	17.858	2.01	0.62	0.247	0.90	1.32	0.274	3.26	0.39	0.169	5.54	0.75	0.241	2.97	1.00	0.383						
4	1.38	57.83	19.466	2.27	0.18	0.226	7.71	0.87	0.215	2.99	0.29	0.160	4.96	0.39	0.208	4.88	1.34	0.402						
5	1.39	60.79	16.071	2.43	0.25	0.137	3.32	1.33	0.162		0.25	0.090	4.01	0.45	0.134	18.14	1.01	0.283						
6	1.47	54.42	16.155	3.19	0.36	0.238	3.72	1.04	0.181	2.32	0.36	0.150	4.54	0.68	0.181	4.72	0.84	0.323						
7	41.89	57.31	14.778	5.43	0.38	0.231	3.04	1.75	0.232	2.89	0.39	0.158	4.71	0.42	0.182	8.41	0.85	0.248						
8	1.37	52.38	16.276	1.97	0.17	0.124	4.86	1.38	0.187	4.06	0.22	0.074	5.32	0.70	0.170	4.50	1.18	0.366						
9	1.84	57.61	19.645	2.67	0.46	0.236	2.96	1.64	0.278		0.26	0.156	3.30	0.68	0.247	3.03	1.28	0.371						
10	2.35	58.54	19.685	3.91	0.38	0.250	4.49	1.38	0.250		0.49	0.211	6.84	0.88	0.220	6.30	0.90	0.377						
<b>Prom.</b>	<b>9.134</b>	<b>56.758</b>	<b>17.330</b>	<b>2.753</b>	<b>0.382</b>	<b>0.218</b>	<b>4.526</b>	<b>1.310</b>	<b>0.231</b>	<b>3.837</b>	<b>0.346</b>	<b>0.149</b>	<b>4.900</b>	<b>0.621</b>	<b>0.212</b>	<b>6.314</b>	<b>0.974</b>	<b>0.342</b>						
Semana	BN				Lili				Morichal				Caney				C2000				Vallado			
	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD	Exper.	ISCT3	CFD
1	0.23	19.78	8.842	2.81	0.15	0.230	9.46	0.31	0.111	4.35	0.14	0.078	6.38	0.21	0.125	5.57	0.34	0.179						
2	10.23	19.71	8.459	1.95	0.19	0.133	9.74	0.52	0.165	4.54	0.13	0.087	7.21	0.23	0.154	4.38	0.12	0.168						
3	2.24	19.44	9.260	2.70	0.21	0.128	0.35	0.46	0.142	5.95	0.13	0.088	6.23	0.26	0.125	3.43	0.35	0.199						
4	1.91	20.20	10.094	3.04	0.06	0.117	11.19	0.30	0.111	3.88	0.10	0.083	6.28	0.13	0.108	5.57	0.46	0.209						
5	1.80	21.24	8.333	2.85	0.08	0.071	5.66	0.46	0.084		0.08	0.049	6.66	0.16	0.069	9.25	0.35	0.147						
6	1.85	19.01	8.377	2.93	0.12	0.123	4.56	0.36	0.094	3.57	0.12	0.078	8.96	0.23	0.094	5.01	0.29	0.167						
7	23.83	20.02	7.663	2.62	0.13	0.120	4.67	0.61	0.120	4.24	0.13	0.082	5.37	0.14	0.094	9.21	0.29	0.129						
8	1.65	18.30	8.440	3.37	0.06	0.064	5.16	0.48	0.097	5.12	0.07	0.038	17.88	0.24	0.088	5.19	0.41	0.190						
9	1.87	20.13	10.186	2.53	0.16	0.122	3.62	0.57	0.193		0.09	0.081	4.25	0.23	0.128	3.67	0.44	0.193						
10	2.71	20.45	10.207	5.04	0.13	0.161	5.57	0.58	0.196		0.17	0.109	8.89	0.30	0.114	6.93	0.31	0.109						
<b>Prom.</b>	<b>4.832</b>	<b>19.828</b>	<b>8.986</b>	<b>2.984</b>	<b>0.129</b>	<b>0.127</b>	<b>5.998</b>	<b>0.465</b>	<b>0.131</b>	<b>4.521</b>	<b>0.116</b>	<b>0.077</b>	<b>7.811</b>	<b>0.213</b>	<b>0.110</b>	<b>5.821</b>	<b>0.336</b>	<b>0.169</b>						

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

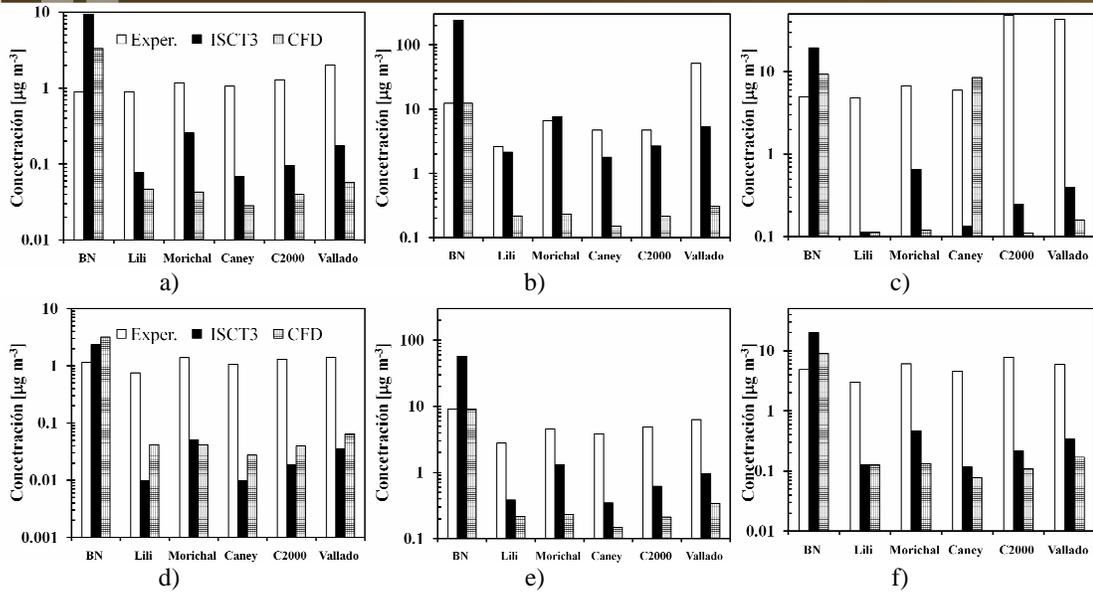


Fig. 5. Distribución de la concentración promedio de las diez semana para el periodo uno y dos. Periodo uno a) benceno. b) Tolueno. c) Xileno. Periodos dos c) benceno. d) Tolueno. e) Xileno.

Fig. 6. Correlación de paridad entre los valores calculados numéricamente para cada contaminante en el periodo uno en cada punto de muestreo en el periodo uno. a) y b) benceno. c) y d) tolueno. d) y f)

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

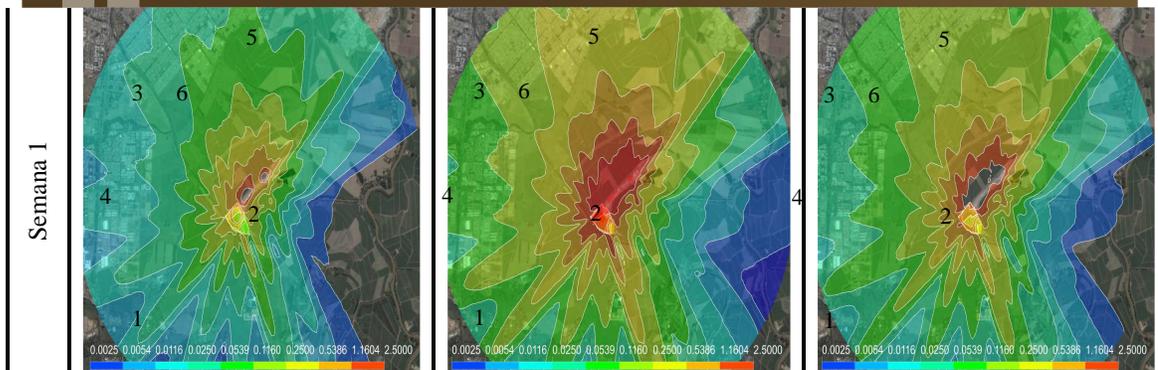


Fig. 6. Concentraciones en los alrededores del relleno para cada semana-. Izquierda, benceno. Centro, tolueno. Derecha, xileno. Valor mínimo 0.0025 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]. Valor máximo 2.5 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ].

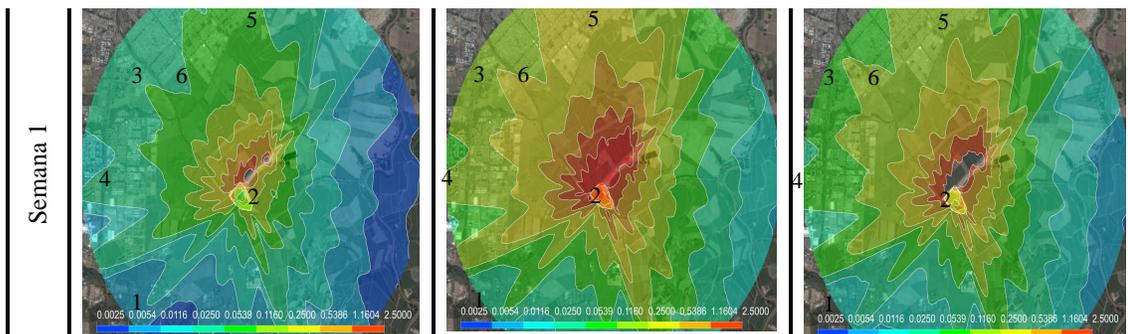


Fig. 77. Concentraciones en los alrededores del relleno para cada semana-. Izquierda, benceno. Centro, tolueno. Derecha, xileno. Valor mínimo 0.0025 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]. Valor máximo 2.5 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ].

### CONCLUSIONES

Todo proceso de contaminación atmosférica incluye algún tipo de fuente las cual puede ser debida por actividades volcánicas, incendios forestales o actividades humanas. En el presente estudio se estudio la contaminación atmosférica producida por la descomposición de residuos sólidos urbanos en los alrededores de un sitio de disposición final.. En dicho lugar se emiten entre otros contaminantes los BTX, los cuales son unos compuestos orgánicos perjudiciales para la salud. A partir de la determinación numérica y experimental de la dispersión de BTX en los alrededores del BN se encontró valores de concentración de cada contaminante por debajo de los límites. Dichos valores se produjeron por las emisiones de contaminantes desde el relleno. Al estimar la concentración experimentalmente y compararlas con las numéricas se observo la falta de una relación directa entre la concentración asociada a la emisión y la real. Lo anterior significa que el impacto en la calidad del aire de los habitantes de los alrededores por las emisiones de relleno es bajo. La calidad de aire está siendo impactada por otro tipo de fuentes como por ejemplo los vehículos, las cuales no se tuvieron en cuenta en el presente trabajo. Las diferencias encontradas entre lo calculado por el ISCST3 y la CFD se debieron principalmente a la turbulencia. Mientras en el ISCST3 las características turbulentas del aire son estimadas a partir de mediciones de temperatura, en la CFD son asumidas. Lo anterior

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

nos permite decir que es necesario para realizar mediciones de las características turbulentas del aire para obtener datos más precisos con la CFD y así maximizar el uso de estos tipos de herramientas en el área de dispersión atmosférica.

### REFERENCIAS

Barry L.J., A review of effect of hazardous waste on reproductive Elath. In: American Journal of Obstetric and Gynecology 181.1.S12-S16.

Dummer TJ, Dickinson HO, Parker L., (2003) Adverse pregnancy outomes near landfill sites in Cumbria, northwest England, 1950-1993. Arch Environ Health. 692-8 <http://www.ejnet.org/rachel/rhwn090a.htm>.

Environmental Research Foundation,(1998). Landfills are Dangerous. Rachel's Environment and Health News. Estados Unidos. 617. [http://www.rachel.org/bulletin/pdf/Rachels\\_Enviroment\\_Health\\_News\\_1149.pdf](http://www.rachel.org/bulletin/pdf/Rachels_Enviroment_Health_News_1149.pdf)

EPA (Unitec States Environmental Protection Agency). (1999). Modelo de dispersion atmosférica. <http://www.siabolivia.com/documentos/airmod.pdf>.

EPA (United States Environmental Protection Agency). (2005). Landfill Gas Emissions model (Land GEM). <http://www.epa.gov/ttn/catc/products.html#software>.

EPA (United States Environmental Protection Agency). (2005). Guidance for evaluation landfill gas emissions from cloced or abandoned facilities. EPA-600/R\_05/123a.

Giusti. L., (2009). A review of waste management practices and teir impact on human health. In: Waste Management 29.2009.2227-2239.