

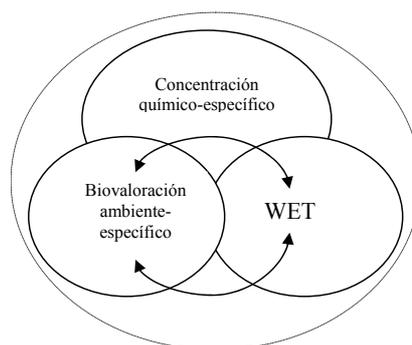
## EVALUACIÓN DE LA ECOTOXICIDAD DE EFLUENTES INDUSTRIALES Y MUNICIPALES. Caso de estudio Río Luján – Región Ciudad de Pilar

Walter Darío Di Marzio<sup>1,2</sup>, María Elena Sáenz<sup>1,2</sup> y José Luis Alberdi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Investigación en Ecotoxicología, Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján. [www.priet.unlu.edu.ar](http://www.priet.unlu.edu.ar)

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas CONICET

La toxicidad de una sustancia, o mezcla de sustancias, está definida por sus concentraciones individuales y por el tiempo de exposición a los que están sometidos los organismos. El concepto de toxicidad de un efluente líquido, ha tenido diferentes interpretaciones. Un concepto inicial propuesto en la descarga de efluentes, era que los líquidos deberían estar “libres de sustancias tóxicas en cantidades tóxicas”. La medida directa de la toxicidad de efluentes es definida por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [1] como “*Whole Effluent Toxicity*” o WET (toxicidad total o integrada del efluente). La idea del WET fue posterior a la idea de controlar las descargas a partir de la medida de las concentraciones de compuestos químicos individuales o químico-específico. Asimismo, posterior al WET es el concepto que un análisis protectivo del ambiente, implicaría la biovaloración o el estudio *in situ* en los ambientes que reciben descargas de efluentes líquidos. Esto arroja un acercamiento integrado de la evaluación del impacto ambiental asociado a dichas descargas, el cual se esquematiza en la siguiente figura. Las etapas posteriores del control de la descarga de efluentes referidas a incluir en el monitoreo la presencia de sustancias potencialmente bioacumulables, genotóxicas y disruptores hormonales, está tomando cada vez más relevancia.



El interés está relacionado al hecho que además del efecto ambiental este puede extrapolarse al hombre a partir del re-uso del agua para su potabilización. Scruggs et al 2005 [2] discuten la eficiencia de los diferentes tratamientos para remover estas sustancias, ya sean químicos y/o biológicos. Sustancias que pueden estar relacionadas directamente con la actividad industrial, por ejemplo el Nonilfenol, producto de la degradación final de detergentes no-iónicos, compuesto agonista del estrógeno, el cual produce alteraciones histológicas en las gónadas de los individuos machos, que provocan su esterilidad parcial o total. La necesidad de monitorear sustancias que puedan bioacumularse tiene doble interés. Por un lado, al ser bioacumuladas pueden ser transferidas a los niveles tróficos superiores, en las cadenas alimenticias de los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, su detoxificación por parte de los organismos puede implicar la producción de metabolitos que tengan poder genotóxico, es decir capaces de alterar la estructura química del ADN. De la misma manera que ocurre con la evaluación de la toxicidad de un efluente, el poder genotóxico del mismo puede ser el resultado de la interacción de todos los compuestos químicos presentes en la matriz líquida. Existen diferentes protocolos aceptados internacionalmente para evaluar la genotoxicidad de residuos líquidos, lixiviados o muestras sólidas. Gert-Jan de Maagd 2000 [3] realizó una exhaustiva revisión acerca de los protocolos analíticos para monitorear sustancias potencialmente bioacumulables presentes en efluentes líquidos. El mismo autor junto a M. Tonkes revisan los tests más apropiados para evaluar la genotoxicidad de efluentes industriales. Di Marzio et al 2005 [4] presentan un método mediante el cual se puede evidenciar la potencia genotóxica de este tipo de muestras. Asimismo, la ecotoxicidad de residuos industriales sólidos puede evaluarse siguiendo el protocolo presentado por Di Marzio et al 1999 [5].

En este trabajo se indican, muy brevemente, algunos resultados obtenidos a partir del análisis de muestras de dos efluentes descargados en el río Luján a la altura de la ciudad de Pilar, completando los datos publicados para la cuenca en Di Marzio et al 2005 [6,7], sobre la descarga de efluentes líquidos.

### Muestreo de efluentes

Los efluentes fueron tomados directamente de la descarga del Parque Industrial de Pilar y de la planta depuradora de la ciudad del mismo nombre. Fueron muestreados durante noviembre de 2006 por personal de la Reserva Natural de Pilar - Asociación para la Protección del Patrimonio Natural. Las mismas se refrigeraron y se trasladaron al Laboratorio de Investigación en Ecotoxicología de la Universidad Nacional de Luján.

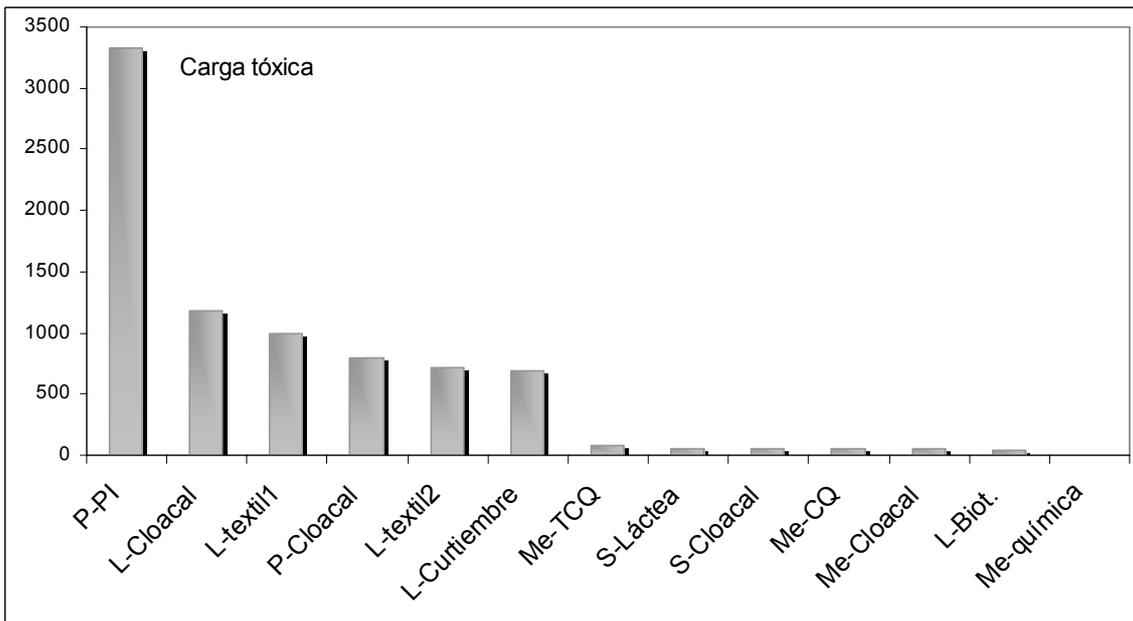
### Caracterización según normativa ADA

Los efluentes fueron caracterizados de acuerdo a sus parámetros físicos y químicos como se indica en la tabla siguiente:

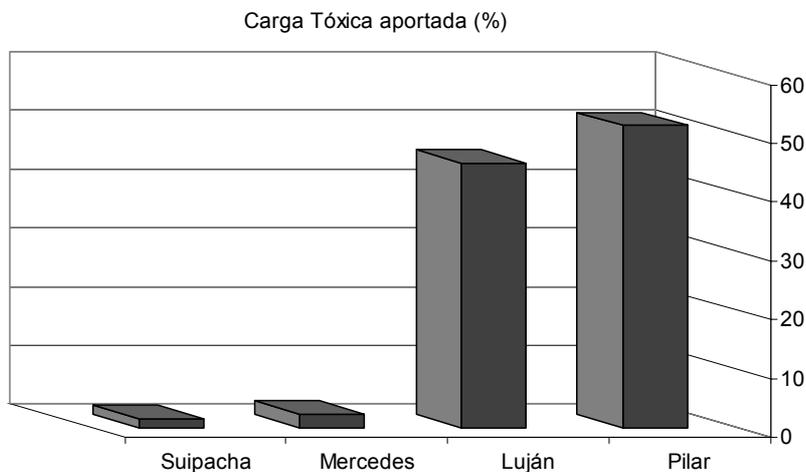
| Parámetro/Muestra            | Doméstico | Parque Industrial | ADA 336/03 |
|------------------------------|-----------|-------------------|------------|
| S.S. 10' (ml/l)              | 0.1       | 380               | ausente    |
| S.S. 120' (ml/l)             | 0.2       | 180               | < 1.0      |
| DQO (mg/l)                   | 46,9      | 1137,5            | < 250      |
| Nitritos (mg/l)              | 0         | 6                 |            |
| Fosfatos (mg/l)              | 3         | 6                 | < 1        |
| Amonio (mg/l)                | 4.74      | 6,11              | < 25       |
| Cloruros (mg/l)              | 12.5      | 55                |            |
| Nitratos (mg/l)              | 3.28      | 0.21              |            |
| S.S.E.E. (mg/l)              | ND        | 52                | < 50       |
| Detergentes (mg/l)           | 0,114     | 0.423             | < 2.0      |
| Hidrocarburos Totales (mg/l) | ND        | 30                | < 30       |
| Fenol (mg/l)                 | 0,012     | 0.392             | < 0.5      |
| salinidad %                  | 0,07      | 0,16              |            |
| Turbidez NFU                 | 222       | > 999             |            |
| pH                           | 8,04      | 9                 | 6.5-10     |
| microS                       | 1630      | 3300              |            |
| salinidad 0/00               | 0,7       | 1,6               |            |
| turbidez NFU                 | 222       | > 999             |            |
| pH                           | 8,04      | 9                 |            |
| microS                       | 1630      | 3300              |            |
| cinc                         | 0,12      | 0,21              | < 2.0      |
| niquel                       | 0,01      | 0,01              | < 2.0      |
|                              |           | 0,01              | < 2        |
| chromo total                 | 0,01      |                   |            |
| cadmio                       | 0,005     | 0,005             | < 0.1      |
| mercurio                     | 0,001     | 0,001             | < 0.005    |
| plomo                        | 0,03      | 0,06              | < 0.1      |

### Determinación de la Ecotoxicidad de los efluentes

Los efluentes fueron evaluados en términos de su ecotoxicidad aguda sobre los siguientes organismos Fitoplancton, Zooplancton, Invertebrados del bentos o sedimentos y Peces. Los dos efluentes fueron tóxicos, para todas las especies ensayadas. La toxicidad aguda para la muestra Parque se manifiesta en diluciones > al 3 % y mayores al 12.5 % para la planta depuradora. Con los datos ecotoxicológicos y los caudales estimados de los efluentes bajo estudio, se determinaron las unidades tóxicas y las cargas tóxicas aportadas a la cuenca del río Luján. Estos datos se incorporaron en el perfil de carga tóxica existente hasta el año 2005, cuyo gráfico actualizado se presenta a continuación.



Si se ordenan los datos por ciudad o región, puede notarse que las empresas y plantas depuradoras pertenecientes a Luján y Pilar aportan más del 90 % de la carga tóxica que ingresa en la cuenca.



### Presencia de compuestos orgánicos en los efluentes

A partir de la extracción de las moléculas orgánicas mediante el sistema SPME acoplado a cromatografía gaseosa y espectrometría de masa, se determinaron los siguientes compuestos.

### Parque Industrial

| Compuesto                    | CAS     | PM     | Log Kow | Log BCF | BIODEG |
|------------------------------|---------|--------|---------|---------|--------|
| Cloroformo                   | 67663   | 119,38 | 1,95    | 0,817   | NRB    |
| 1,2,4-trimetil benceno       | 95636   | 120,2  | 3,63    | 2,095   | RB     |
| o-etil-tolueno               | 611143  | 120,2  | 3,58    | 2,02    | NRB    |
| p-etil-tolueno               | 622968  | 120,2  | 3,67    | 2,1     | NRB    |
| Etil hexanol                 | 104767  | 130,23 | 2,73    | 1,4     | RB     |
| Propil benceno               | 103651  | 120,2  | 3,7     | 2,14    | NRB    |
| 1,4 Dicloro benceno          | 106467  | 147    | 3,57    | 1,95    | NRB    |
| Azuleno                      | 275514  | 128,18 | 3,32    | 1,76    | NRB    |
| 1decanol-2,2 dimetil         | 2370152 | 186,34 | 4,66    | 1,89    | RB     |
| 1,2,3,4 tetrahidro naftaleno | 119642  | 132,21 | 3,71    | 1,99    | NRB    |
| Ter-butil benceno            | 98066   | 134,22 | 3,97    | 2,46    | NRB    |
| Indeno 1 metil               | 767588  | 132,21 | 3,88    | 2,29    | NRB    |
| 1Metil 2 propil benceno      | 1074175 | 134,22 | 4,15    | 2,76    | NRB    |
| p-cimeno                     | 99876   | 134,22 | 4,07    | 2,46    | NRB    |
| o-xileno                     | 95476   | 106,17 | 3,14    | 1,76    | RB     |
| m-xileno                     | 108383  | 106,17 | 3,09    | 1,7     | RB     |
| etilbenceno                  | 100414  | 106,17 | 3,17    | 1,73    | NRB    |
| 2,4 dimetil etil fenol       | 96764   | 206,33 | 5,33    | 2,85    | NRB    |
| Difenil metanona             | 119619  | 182,22 | 3,18    | 0,91    | NRB    |

NRB: no rápidamente biodegradable, semanas – meses, RB: rápidamente biodegradable, días-semanas, BCF: factor de bioconcentración, Kow: partición lípidos - agua

### Planta depuradora

| Compuesto                        | PM     | Log Kow | Log BCF | BIODEG |
|----------------------------------|--------|---------|---------|--------|
| 4-butoxi 1butanol                | 146,23 | 1,86    | 0,73    | RB     |
| Metoxi-succininida               | 129,12 | -1,19   | 0,5     | NRB    |
| Oximetil butano                  | 158,29 | 4,25    | 2,57    | NRB    |
| Ac. Etanodioico                  | 90,04  | -1,75   | 0,5     | RB     |
| Ac. Pentadecanoico               | 242,41 | 6,47    | 1,75    | RB     |
| 1,3 diisocianato 2 metil benceno | 174,16 | 3,74    | 2,18    | NRB    |
| 1,1 diisocianato metil benceno   | 174,16 | 3,74    | 2,18    | NRB    |
| Bensopirano 3 metil              | 160,17 | 2,06    | 0,89    | RB     |
| Ac. Bensoico etil-ester          | 150,18 | 2,62    | 1,33    | RB     |
| Nonilfenol                       | 220,36 | 4,23    | 3,9     | NRB    |

NRB: no rápidamente biodegradable, semanas – meses, RB: rápidamente biodegradable, días-semanas

Ambos efluentes, pero principalmente el correspondiente al Parque Industrial Pilar, descargan sustancias que son narcóticas no polares, bioacumulables y potencialmente genotóxicas. Es decir que además del efecto agudo que producen, estos efluentes pueden causar efectos crónicos asociados a la exposición prolongada en el tiempo.

### Enriquecimiento antrópico de metales en el río

La tasa de enriquecimiento ambiental de los metales por acción antrópica o por la descarga de los dos efluentes mencionados, se indica en la tabla siguiente.

Es evidente el progresivo enriquecimiento regional de los metales determinados, los cuales probablemente se estén acumulando en los sedimentos hasta alcanzar una condición de equilibrio con la fase acuosa, situación que posiblemente desencadene efectos tóxicos sobre los organismos presentes. No se realizaron ensayos para evaluar la toxicidad de los sedimentos. Sin embargo, por la elevada concentración de sólidos sedimentables, principalmente en el efluente del Parque Industrial, es muy probable que dichos sedimentos posean características anaeróbicas.

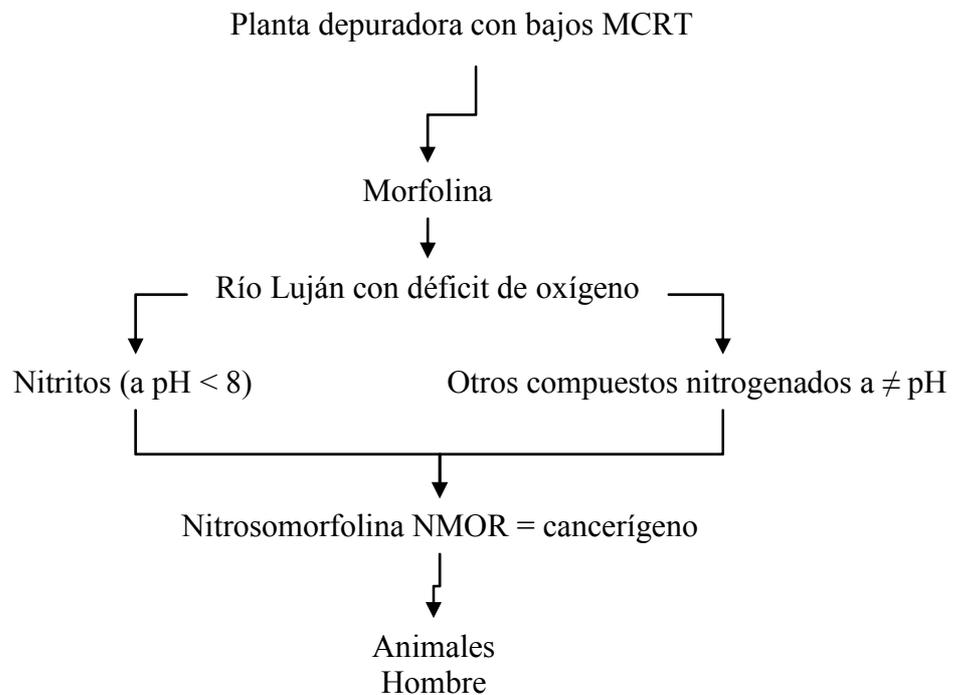
Metales efluentes Parque industrial y doméstico

| Metal       | TEA Doméstico (D)<br>Kg/año | TEA Industrial (I)<br>Kg/año | D+I    | TEA GLOBAL* |
|-------------|-----------------------------|------------------------------|--------|-------------|
| cinc        | 52,56                       | 91,98                        | 144,54 | 72          |
| níquel      | 4,38                        | 4,38                         | 8,76   | -           |
| Cromo total | 4,38                        | 4,38                         | 8,76   | -           |
| cadmio      | 2,19                        | 2,19                         | 4,38   | 89          |
| mercurio    | 0,438                       | 0,438                        | 0,876  | 66          |
| plomo       | 13,14                       | 26,28                        | 39,42  | 97          |

\*: en Walker et al. (2006)

Por otro lado, tomando como ejemplo una de las sustancias que se descargan en el río en la región de la ciudad de Luján, tenemos un escenario que permite describir su ciclo ambiental. Se trata de la Morfolina, citada en Di Marzio (2005), con la cual integramos la información existente sobre la calidad de agua del río, proponiendo en el siguiente esquema su comportamiento ambiental:

**Ciclo de la Morfolina en el ambiente**



Este trabajo deja en claro, como se mencionara en Di Marzio 2005 [7], que es urgente una actualización de la normativa ambiental aplicada a la descarga de efluentes líquidos, la cual tenga en cuenta la determinación de la ecotoxicidad de los mismos aguda y crónica y sus potencialidades para producir efectos de bioacumulación, genotoxicidad y disrupción hormonal. Asimismo ajustar el control del proceso de los sistemas depurativos, principalmente por lodos activados aplicando el conocimiento microbiológico actual, el cual contribuye al aumento de las eficiencias depurativas [8,9]. El caso del río Luján puede tomarse como un modelo para futuros estudios en otros ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires.

## Referencias

1. US EPA, 1991. Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms, fourth ed. Publ. No. 600/4-90/027. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
2. Scruggs C, Hunter G, Zinder E, Long B and Zinder S, 2005. EDCs in wastewater: what's the next step ? *Water Environment and Technology* 17(3): 24 – 31.
3. Gert Jan de Maagd, P., 2000. Bioaccumulation tests applied in the whole effluent assessment: a review. *Environ. Toxicol. Chem.* 19, 25–35.
4. Di Marzio WD, Saenz ME, Lemiere S and Vasseur P, 2005. Improved single cell gel electrophoresis assay for the earthworm *Eisenia foetida*. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 46(4): disponible on line.
5. Di Marzio, WD; Sáenz ME; Alberdi JL and Tortorelli, MC, 1999. Assessment of the Toxicity of Stabilized Sludges using *Hyalella curvispina* (Amphipod) Bioassays. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol.63 (5): 654 - 659
6. Di Marzio WD, Sáenz ME, Alberdi JL, Tortorelli MC and Galassi S, 2005. Risk assessment of domestic and industrial effluents unloaded into a freshwater environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 61(3): 380-391.
7. Di Marzio WD, 2005. Evaluación de la ecotoxicidad de efluentes industriales y municipales. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS*, 82: 88 – 93.
8. Di Marzio WD, 2002. First results from a screening of filamentous organisms present in Buenos Aires's activated sludge plants Argentina. *Water Science and Technology*, 46(1-2): 119 – 122.
9. Di Marzio WD, 2004. Manual de Microbiología de lodos activados. 1ª ed. – Buenos Aires: el autor. 53 p. más CD interactivo (50 Mb).

WD Di Marzio:

Licenciado y Doctor en Biología, Universidad Nacional de La Plata, Post-Doctorado en Universidad de Metz, Francia, Investigador Adjunto CONICET, Profesor Adjunto Ecotoxicología – UNLU y co-Director del Programa de Investigación en Ecotoxicología – UNLU

ME Sáenz:

Licenciada y Doctora en Biología, Universidad Nacional de La Plata, Post-Doctorado en Universidad de Metz, Francia, Investigadora Adjunta CONICET, Profesora Adjunta Biotecnología – UNLU y Investigadora del Programa de Investigación en Ecotoxicología – UNLU

JL Alberdi:

Licenciado en Biología, Universidad Nacional de La Plata, Investigador del Programa de Investigación en Ecotoxicología – UNLU.