

# **MÓDULO: ECOTOXICOLOGÍA**

**Docente:** Dra. María del Carmen Tortorelli ([mariactortorelli@gmail.com](mailto:mariactortorelli@gmail.com))

## **Fundamentación:**

La problemática ambiental emerge a pesar del creciente conocimiento y generación de regulaciones complejas por parte de la sociedad. Por el contrario, esta problemática parece extenderse más y con mayor frecuencia a escalas transnacional y global. Las emisiones de compuestos químicos al ambiente, ya sea en forma deliberada o accidental, requieren permanente atención e inversión en alternativas de reducción y remediación de los ambientes terrestres y acuáticos afectados. Del mismo modo, las emisiones de compuestos químicos susceptibles de sufrir transporte atmosférico generan problemas crecientes. La lluvia ácida constituye un problema transnacional, dañando ambientes acuáticos y terrestres. Los clorofluorocarbonos, usados como propelentes y refrigerantes, conducen a la depleción de la capa de ozono en la atmósfera y, a pesar de los esfuerzos realizados para disminuir su empleo, la problemática persiste.

Nuevos compuestos químicos se diseñan y producen año tras año, tales como retardantes de fuego brominados, estrógenos sintéticos, etoxilatos de alquilfenol, y sus productos de degradación, productos antimicrobianos, constituyentes de productos de higiene personal y un número creciente de compuestos no identificados que son emitidos en cantidades significativas. Sólo en los últimos años, los ecotoxicólogos han comenzado a estudiar los impactos potencialmente severos de estos compuestos en los sistemas naturales.

A la problemática mencionada, se suma la interacción de los compuestos químicos en el medio. Los efectos tóxicos de las mezclas de tóxicos sólo son comprendidos en forma muy limitada. El creciente número de sustancias emitidas y su elevada variabilidad estructural, complica aún más su conocimiento y evaluación, la estimación de sus efectos y del riesgo sobre el ambiente asociado a los mismos.

Por último, la ecotoxicología implica la evaluación de sustancias y efectos de naturaleza muy diversa, desde la simple presencia o ausencia de un determinado compuesto químico en el medio y en los organismos hasta su repercusión a nivel genético (genotoxicidad), crecimiento, reproducción, bioacumulación, etc. Como consecuencia de esta complejidad, la ecotoxicología es una disciplina esencialmente

multidisciplinaria donde confluyen, además de la ecología y toxicología, biología celular y molecular, fisiología, química orgánica y biológica, estadística y cálculo diferencial, entre otras. Una estrategia de acercamiento multidimensional es necesaria para enfatizar la complejidad del ecosistema, su dinámica, resiliencia e interconectividad, para mencionar sólo unos pocos atributos.

En consecuencia, la experticia en ecotoxicología resulta ser un aspecto crítico en la formación de profesionales involucrados en la toma de decisiones ambientales. Una comprensión general del modo en que un ecotoxicólogo establece ciertas decisiones puede abrir vías de comunicación entre la ingeniería ambiental y la ecotoxicología, responsables ambas de decidir si una determinada solución de ingeniería ofrece protección adecuada a la salud humana y al ambiente.

El conocimiento ecotoxicológico es esencial en la determinación de los costos y beneficios de las innumerables decisiones tecnológicas e industriales que afectan nuestras vidas. La consideración de servicios y productos no comercializados en el mercado y el valor del capital natural deben ser incorporados en estas decisiones. Del mismo modo, la problemática reseñada en los párrafos previos requiere la elaboración e implementación de complejas y costosas regulaciones ambientales dirigidas a la preservación de los ambientes naturales, la protección ambiental responsable, la protección de la vida y salud de las poblaciones humanas y la promoción de la prosperidad económica sustentable.

Los profesionales que toman decisiones asociadas a cuestiones ambientales deben tener una formación académica que les permita comprender que sus datos, predicciones, estimaciones y conocimiento estarán asociados a un contexto social embebido en una ética ambiental. Del mismo modo, una correcta formación académica los preparará para enfrentarse exitosamente al nivel de tensión existente entre la tarea esencialmente científica de la estimación del riesgo y la incertidumbre asociado a una determinada actividad y la carga moral de la decisión de qué nivel y tipo de riesgo es aceptable.

### **Objetivos:**

El Seminario se propone proveer a los estudiantes del conocimiento ecotoxicológico básico incluyendo exposición y efectos de los potenciales tóxicos sobre los organismos individuales, poblaciones, comunidades y ecosistemas, los métodos actualmente desarrollados para estudiar la naturaleza y extensión de la contaminación ambiental y las técnicas utilizadas para cuantificar los efectos tóxicos sobre organismos individuales y poblaciones potencialmente expuestas. El curso se propone, además, proveer información y criterios de análisis y aplicación de las normativas generadas por organismos gubernamentales de regulación.

Se pretende que, al finalizar el curso, los estudiantes sean capaces de:

- Comprender la importancia de la ecotoxicología como una herramienta para la gestión ambiental.
- Comprender principios, conceptos generales y técnicas de evaluación en el campo de la ecotoxicología, con especial énfasis en su naturaleza multidisciplinaria.
- Reconocer los diferentes tipos de tóxicos y su interacción con el ambiente natural.
- Decidir la aplicación e interpretar los resultados de distintas metodologías de análisis dirigidas a la resolución de problemas ecotoxicológicos, adecuadas a las necesidades locales y regionales.
- Contribuir al planeamiento de evaluaciones de riesgo ecotoxicológicos de sustancias químicas emitidas al ambiente e interpretar sus resultados.

### **Contenidos:**

- **Unidad 1:** Ecotoxicología como ciencia. Ecotoxicología predictiva y retrospectiva. Tóxicos y su clasificación. Destino ambiental de los contaminantes: partición, degradación. Principales tipos de contaminantes: metales y metaloides, gases inorgánicos, nutrientes, compuestos orgánicos: hidrocarburos aromáticos policíclicos, bifenilos policlorados, y polibrominados,

clorofluorocarbonos, alquenos órganoclorados, fenoles clorados, plaguicidas órganoclorados, plaguicidas órganofosforados, plaguicidas carbamatos y piretroides, herbicidas aromáticos, PCDD y PCDF, compuestos órganometalicos, contaminantes emergentes de preocupación (PBDE, alquilfenoles, PFOS, disruptores endocrinos, toxinas liberadas por microorganismos). Tóxicos habitualmente presentes en atmósfera, ambientes terrestres, ambientes acuáticos y alimentos.

- **Unidad 2:** Metabolismo de tóxicos en animales y plantas. Principales rutas de ingreso en los organismos, captura. Biotransformación. Detoxificación. Eliminación. Acumulación: bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación. Criterios para el establecimiento de prioridades en la evaluación de tóxicos.
- **Unidad 3:** Relación concentración-dosis/respuesta. Tipos de efectos: agudos, subcrónicos, crónicos. Efectos debidos a la mezcla de tóxicos: aditividad, sinergismo, antagonismo. Mutagenicidad, carcinogenicidad, teratogenicidad. Biomarcadores en diferentes niveles de organización. Su aplicación en la detección temprana de la ecotoxicidad.
- **Unidad 4:** Ensayos ecotoxicológicos como herramientas en la evaluación de la calidad del medio. Organismos de ensayo. Tipos de ensayos ecotoxicológicos según nivel de organización biológica considerado, tiempo de exposición en relación al ciclo de vida de los organismos de prueba. Diseño de ensayos y criterios para su selección. Índices de toxicidad, su valor en la evaluación del riesgo ecológico. Evaluación estadística e interpretación de resultados. Incertidumbre. Informe de resultados. Concepto de carga tóxica, definiciones. UTL, UTSL, TER,  $Cl_{25}$ . Evaluación de la toxicidad de emisiones complejas: efluentes, residuos sólidos y líquidos, lixiviados, cuerpos de agua natural superficial y subterránea, suelo, sedimentos.
- **Unidad 5:** Evaluación del riesgo ecológico y ecotoxicológico como componente fundamental de la toma de decisiones ambientales. Evaluación de la exposición, evaluación de los efectos, evaluación de la respuesta, caracterización del riesgo. Criterios para la evaluación del riesgo de plaguicidas, productos químicos y sus mezclas, efluentes, residuos sólidos y líquidos, suelo, cuerpos de agua naturales, suelo, sedimentos. Factores de preocupación (LOC) en el ambiente. Programas de reducción de toxicidad de efluentes.
- **Unidad 6:** Regulación asociada a evaluación de riesgo ecotoxicológico. Legislación argentina (nacional, provincial) e internacional.

### **Metodología de Enseñanza o Modalidad de Trabajo:**

- Se presentarán los fundamentos teóricos de los distintos temas, enfatizando la promoción de la investigación y el intercambio de ideas a lo largo de las clases, y utilizando el método inductivo-deductivo. Se analizarán problemáticas reales asociadas a cada tema (análisis de casos) y se promoverá que los alumnos planteen casos reales que serán discutidos en clase. Las técnicas de exposición se realizan con ayudas de materiales audiovisuales, videos, equipo multimedia y discusión de problemas.
- Se proveerá a los alumnos de copia digital de la bibliografía obligatoria y opcional, incluyendo libros, publicaciones en revistas científicas, protocolos de ensayo U.S.EPA y ASTM.

### **Formación práctica:**

- Las actividades prácticas previstas incluyen el análisis de casos reales y su resolución en clase, implicando el 35% del total de horas de clase. Si fuera posible en el horario de clase y se contaran con medios de traslado se visitará un laboratorio de ensayos ecotoxicológicos (Programa de Investigación en Ecotoxicología, Departamento de Ciencias Básicas, Universidad nacional de Luján) donde se observará la puesta en marcha y análisis de resultados de ensayos sobre organismos acuáticos y terrestres.
- Sobre la base de problemáticas de interés local y regional planteadas por los alumnos, las que serán analizadas en forma grupal, se plantearán los lineamientos de procesos de evaluación de riesgo ecotoxicológico, incluyendo evaluación de la exposición (muestreos y cronograma de los mismos, evaluación de la concentración de los distintos tóxicos presentes, selección de tóxicos de preocupación, etc.), evaluación de los efectos (selección de organismos de ensayo, diseño de ensayos, índices ecotoxicológicos seleccionados), caracterización del riesgo y su manejo.

### **Requisitos de regularidad:**

- Se requiere el 80% de asistencia al módulo.

### **Modalidad de Evaluación:**

- Sobre la base de problemáticas de interés local y regional planteadas por los alumnos, las que serán analizadas en forma grupal, se plantearán los lineamientos de procesos de evaluación de riesgo ecotoxicológico, incluyendo evaluación de la exposición (muestreos y cronograma de los mismos, evaluación de la concentración de los distintos tóxicos presentes, selección de tóxicos de preocupación, etc.), evaluación de los efectos (selección de organismos de ensayo, diseño de ensayos, índices ecotoxicológicos seleccionados), caracterización del riesgo y su manejo. Este trabajo grupal será evaluado considerando los criterios de selección empleados por los alumnos en cada etapa y su justificación.

### **Bibliografía obligatoria:**

- DEN BESTEN, P.J. and M. MUNAWAR. 2005. *Ecotoxicological Testing of Marine and Freshwater Ecosystems Emerging Techniques, Trends, and Strategies*. Taylor & Francis Group, New York: 586 pp..
- DI MARZIO, W. D y M.E. SÁENZ. 2013. *Ecotoxicología, 1a ed.* Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA), Buenos Aires: 366 pp.
- HODGSON, E. 2004. *A Textbook of Modern Toxicology*. Third Ed. Wiley Interscience Ed., New York: 582 pp.
- HOFFMAN, D. J., B. A. RATTNER, G. ALLEN BURTON, JR. and J.CAIRNS, JR. 2002. *Handbook of Ecotoxicology*, 2 nd Edition. Lewis Publishers, New York: 345 pp.
- LANDIS, W., R. SOFIELD and M.-H. YU. 2017. *Introduction to Environmental Toxicology: Molecular Substructures to Ecological Landscapes*, 5<sup>TH</sup> Edition. CRC Press, New York: 470 pp.

- LANDIS, W. and M. – H. YU. 2000. *Introduction to environmental toxicology: impacts of chemicals upon ecological systems*, 2<sup>nd</sup> edition. Lewis Publishers, New York: 481 pp.
- LEMA, I. I., M. ZUK y L. ROJAS-BRACHO. 2011. *Introducción al análisis de riesgos ambientales*, 2<sup>a</sup> ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), México D.F.: 220 pp.
- LIPPMANN, M. 2004. *Environmental Toxicants, Human Exposures and Health Effects*, 3<sup>rd</sup> ed. Wiley Ed., New York: 1174 pp.
- NEWMAN, M. C. 2015. *Fundamentals of Ecotoxicology*, 4<sup>rd</sup> Edition. CRC Press, New York: 666 pp.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. 2001. *Harmonized Integrated Classification System for Human Health and Environmental Hazards of chemical substances and mixtures*, OECD Series on testing and assessment No. 33, ENV/JM/MONO (2001) 6: 1-289.
- SPARLING, D.W. 2018. *Basics of Toxicology*. CRC Press, New York: 221 pp.
- SUTER, G. W., II, R.A. EFROYMSON, D.E.SAMPLE and D.S. JONES. 2002. *Ecological Risk Assessment for Contaminated Sites*. Lewis Publ., Boca Raton: 789 pp.
- WOOLLEY, D. and A. WOOLLEY. 2018. *Practical Ecotoxicology: Evaluation, Prediction, and Risk*, 3<sup>rd</sup> Edition. CRC Press, New York: 522 pp.
- YU, M.-H. 2005. *Environmental Toxicology – Biological and Health Effects of Pollutants*, 2<sup>nd</sup> Ed. CRC Press, New York: 492 pp.

### ***Bibliografía opcional/ ampliatoria:***

- CALABRESE, E. J. and P. T. KOSTECKI. 1992. *Risk Assessment and Environmental Fate Methodologies*. CRC Press, Boca Raton, Florida: 150 pp.
- CALABRESE, E. J. And L. A. BALDWIN. 1995. *Performing Ecological Risk Analysis*. Lewis Publishers, Chelsea, MI: 1-257.
- DI MARZIO, W.D., M. C. TORTORELLI, M. E. SAENZ and J. L. ALBERDI. 1998. Effects of paraquat (PQ) on survival and totale cholinesterase activity in adults males and females of *Cnesterodon decemmaculatus* (Pisces, Poeciliidae). *Environmental Toxicology and Water Quality* 13 (1).
- DI MARZIO, W.D., M. C. TORTORELLI, M. E. SAENZ and J. L. ALBERDI. 1994. Effects of paraquat on survival and totale cholinesterase activity in fry of *Cnesterodon decemmaculatus* (Pisces). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 52 (2): 274-278.
- DI MARZIO, W., M. E. SAENZ, J. L. ALBERDI y M.C. TORTORELLI. 1996. Protocolo de ensayo ecotoxicológico para *Cnesterodon decemmaculatus*, *An. XX Congr. Arg. Toxicol.*, 11.
- EMMANUEL, E., Y. PERRODIN, G. KECK, J.M. BLANCHARD and P. VERMANDE. 2005. Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater: a proposed framework for raw effluents discharging into urban sewer network. *Journal of Hazardous Materials A117*: 1-11.
- ENVIRONMENT CANADA. 1999. *Guidance Document on Application and Interpretation of Single-Species Tests in Environmental Toxicology*, Method Development and Application Section, Environmental Technology Centre, EPS 1/RM/34.
- ENVIRONMENT CANADA. 2002. *Guidance Document for conducting Toxicity Reduction Evaluation (TRE) Investigations of Canadian Metal Mining Effluents*, Environment Canada – Mining Association of Canada – ESG International Inc.: 170 pp
- NGUYEN, T. Y., N.T.K. OANH; R. L. BAETZ; D. L. WISE and T. T. L. NGUYEN. 1996. An integrated waste survey and environmental effects of COGIDO, a bleached pulp and paper mill in Vietnam, on the receiving waterbody, *Resources Conservation and Recycling* 18 (1-4): 161-173.

- PRICE, P. et al. 2012. A decision tree for assessing effects from exposure to multiple substances. Environmental Sciences Europe, Springer Ed. **24** (26): 1 -12.
- RAND, G. M. and S.R. PETROCELLI. 1995. *Fundamentals of aquatic toxicology*. Taylor and Francis Inc., 2<sup>nd</sup> Rev. Edit.: 1115 pp.
- ROMBKE, J. AND J. F. MOLTMANN. 1998. *Applied Ecotoxicology*. Lewis Publishers, New York: 282 pp.
- RONCO, A. y M. C. DÍAZ BÁEZ. 2004. Interpretación y Manejo de resultados. En: *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas*, G. Castillo Morales, ed., Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones, México IMTA - Canadá IDRC: 141-150
- RONCO, A., M. C. DÍAZ BÁEZ y Y. PICA GRANADOS. 2004. Conceptos Generales. En: *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas*, G. Castillo Morales, ed., Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones, México IMTA - Canadá IDRC: 17-23.
- SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA. 1998. Resolución 440/98, Anexo I, Manual de procedimientos, criterios y alcances para el registro de productos fitosanitarios en la República Argentina.
- STINE, K.E. and T.M. BROWN. 2015. Principles of Toxicology. CRC Pres, New York: 455 pp.
- SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY (SETAC-EUROPE). 1995. *Procedures for assessing the Environmental Fate and Ecotoxicity of Plaguicides*. SETAC Press, Bruselles: 54 pp.
- SPRAGUE, J. B. 1995. *Review of methods for sublethal aquatic toxicity tests relevant to the Canadian metal-mining industry, and design of field validation programs*, Aquatic Effects Technology Evaluation Program, Canadian Centre for Mineral and Energy Technology, Department of Natural Resources Canada: 132 pp.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S.EPA). 1992. *A framework for Ecological Risk Assessment Forum*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA/630/R-92-001: 161 pp.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA). 1993a. *Technical Support Document for Water Qualitybased Toxics Control*. EPA/505/2-90-001, US EPA, Office of Water, Washington, D.C.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA). 1993b. *Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms*, 4th ed., Washington, D.C., Report EPA 600/4-90/027F.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA). 1994. *Pesticide Reregistration Rejection Rate Analysis, Ecological Effects*. Office of Pesticides and Toxic Substances, Environmental Fate and Effects Division: 1-167
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA). 1998. *Guidelines for Ecological Risk Assessment*. EPA/630/R-95/002F: 1- 171
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA). 2002. *Short Terms for Estimating the Chronic Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater organisms*. EPA/821/R-02/013: 350 pp.
- WALKER, C. H., S. P. HOPKIN, R. M. SIBLY and D. B. PEAKALL. 1997. *Principles of Ecotoxicology*. Taylor and Francis Inc.: 321 pp.
- WATER ENVIRONMENT RESEARCH FOUNDATION. 1996. *Aquatic Ecological Risk Assessment: A Multi-Tiered Approach*. WERF Press, Alexandria: 230 pp.
- WHO. 2001. *Biomarkers in risk assessment: validity and validation*. Environmental Health Criteria 222: 253pp.

