



# Biomarcadores y Salud Ecológica

**Biomarkers and environmental health**

Recursos Naturales y Sociedad, 2018. Vol. 4 (2): 9-20. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2018.04.04.02.0001>

**Dra. Vanessa Labrada-Martagón**

Laboratorio Ecología de la Salud, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Lateral Av. Salvador Nava Martínez s/n. Zona Universitaria, CP 78290, San Luis Potosí, México. Nivel I del Sistema Nacional de Investigadores / Perfil PRODEP. ORCID ID: 0000-0001-8853-5541  
vlabrada@gmail.com



## En la actualidad existen diversas amenazas que alteran los ecosistemas terrestres y acuáticos y ponen en riesgo la conservación de las especies.

### Resumen

Por ejemplo, la distribución y abundancia de las poblaciones naturales se ven reducidas por la pérdida y fragmentación del hábitat ocasionado por el desarrollo urbano; adicionalmente, los organismos quedan expuestos a contaminación química y basura inorgánica a lo largo de toda su vida. La basura inorgánica, como redes de nylon, bolsas y envases plásticos, puede asfixiar o estrangular a la fauna que queda enmallada y atrapada; además, puede generar patologías cuando micro-plásticos derivados son ingeridos por los animales. Los contaminantes químicos generan alteraciones bioquímicas, fisiológicas y clínicas en los individuos que pueden aumentar su susceptibilidad a enfermedades. Si queremos evaluar el estado de salud del ambiente natural y determinar los efectos de los contaminantes en especies amenazadas o en peligro de extinción, debemos utilizar especies centinelas y biomarcadores como herramientas. El monitoreo de la exposición a contaminantes y de sus efectos fisiológicos y clínicos a través del uso de biomarcadores permite identificar estados

susceptibles de los organismos y el aumento en la prevalencia de enfermedades de manera temprana que pudieran afectar no sólo a la población y a la biodiversidad de los ecosistemas, sino también poner en riesgo la salud de la población humana cuando se trata de especies de importancia comercial. Dichos estudios aportan información base que podrá ser utilizada por las personas encargadas de definir y aplicar las estrategias de mitigación de daños ambientales, planes de manejo y de conservación de las especies.

**Palabras clave:** biomarcadores, conservación, degradación ambiental, fauna silvestre.

### Abstract

Currently, several threats alter terrestrial and aquatic ecosystems and jeopardize species conservation. Distribution and abundance of natural populations have been reduced by loss and fragmentation of the habitat caused by urban development; additionally, organisms are exposed to chemical contamination and garbage



throughout their lives. Inorganic waste can strangle and asphyxiate fauna that gets entangled and trapped; derived microplastics can induce pathologies when ingested by animals, and chemical pollutants generate biochemical, physiological and clinical alterations that could increase susceptibility of organisms to diseases. In health ecology, sentinel species and biomarkers are used as tools for assessing health status of the natural environment and determining the effects of pollutants on endangered or threatened species. Monitoring exposure to pollutants, as well as the physiological and clinical effects by using biomarkers, allows early identification of stress in organisms and potential changes in disease prevalence, which in the long term could not only affect populations and biodiversity in the case of species of human consumption but also threaten public health. These studies generate base-line information that can be used by decision-makers to define and apply mitigation programs and strategies for species management and conservation.

**Key words:** biomarkers, conservation, environmental, perturbation, wildlife.

### Antecedentes

En la actualidad existen diversas amenazas que alteran los ecosistemas terrestres y acuáticos y que ponen en riesgo la conservación de las especies. Por un lado, el desarrollo y crecimiento urbano (ej. construcción de carreteras, hoteles, marinas, etc.) modifica, reduce y fragmenta el hábitat terrestre donde viven los organismos, y por otro, las actividades antropogénicas incluidas el turismo, la industria, la agricultura, la minería y la pesquería, generan basura y descargan fertilizantes, combustibles, insecticidas, aguas negras, metales pesados y gases en el ambiente que favorecen el cambio climático. Por consiguiente, la distribución y abundancia de las poblaciones silvestres se ve reducida por la pérdida del hábitat crítico para su alimentación, migración y reproducción; además, los organismos quedan expuestos a contaminación química y basura a lo largo de su

vida. De manera general, los animales que habitan en ambientes fragmentados, contaminados y con basura, tienen que hacer frente a factores de estrés abiótico (ej. enmalle) y a la pérdida de la calidad de su hábitat (ej. presencia de carreteras), los cuales pueden llegar a alterar el comportamiento y la salud de los organismos, así como limitar su capacidad para hacer frente a necesidades básicas como alimentación, refugio, descanso, termorregulación y reproducción.

El efecto de esos factores a largo plazo es la reducción de la tasa de crecimiento de las poblaciones, de la biodiversidad, y en general la alteración de la estructura y funcionamiento de un ecosistema. El estudio integral de la biodisponibilidad, exposición a contaminantes y de sus efectos en el estado de salud de los animales y en la dinámica de las poblaciones se le conoce como salud ambiental o ecología de la salud.

La basura inorgánica, como llantas, restos de redes de pesca, popotes, globos, bolsas de supermercado por mencionar algunos ejemplos, pueden asfixiar o estrangular a la fauna que queda

enmallada y atrapada en ella, y generar complicaciones de salud si es ingerida (Di Bello et al. 2006; McCauley and Bjorndal 1999). Se estima que los microplásticos, pedazos minúsculos derivados de la basura plástica que se acumula en los océanos, tardarán por lo menos 450 años en degradarse o puede que nunca se degraden; mientras tanto, seguirán absorbiendo toxinas que se sumarán a las que ya contienen y que eventualmente serán ingeridas por los organismos marinos (Parker 2016). Metales pesados derivados de la minería y los contaminantes orgánicos persistentes (COP), que incluyen los compuestos organoclorados y organofosforados usados como plaguicidas, insecticidas y fertilizantes, son contaminantes altamente tóxicos que quedan disponibles en el ambiente acuático y terrestre por décadas. Un ejemplo es el plaguicida diclorodifeniltricloroetano conocido como DDT. El uso del DDT ha sido ampliamente usado en México para el control de vectores de enfermedades como el mosquito que transmite la malaria y para el control de plagas en la agricultura. A

pesar de que el uso agrícola de este insecticida fue restringido desde 1996 en México y sustituido en 1998 (Díaz-Barriga et al. 2003; Yarto et al, 2003), aún es posible detectar exposición residual, restos de dicho insecticida o de sus metabolitos secundarios en fauna silvestre, como tortugas marinas que habitan en el Pacífico mexicano (Labrada-Martagón et al. 2011), en poblaciones humanas que habitan en áreas tropicales del país (Rodríguez-López et al. 2016), y en leche materna de poblaciones como la de Baja California Sur (Castillo-Castañeda et al. 2016). Otros insecticidas y plaguicidas como el aldrin, dieldrin y el endrin con prohibición desde 1991 de acuerdo al Diario Oficial de la Nación (Yarto et al, 2003), siguen detectándose en tortugas marinas (Labrada-Martagón et al. 2011; Tremblay et al. 2017).

#### ***Biomarcadores y especies centinelas***

Cuando se tiene interés en evaluar el estado de salud de la fauna silvestre, no es posible realizar experimentos controlados que permitan determinar los efectos negativos de la exposición a contaminantes ambientales.

Es aún más complicado cuando las especies de interés están catalogadas como amenazadas o en peligro de extinción, ya que el investigador necesita permisos especiales para poder estudiarlas. Afortunadamente, en el estudio de la ecología de la salud se utilizan dos herramientas que facilitan la evaluación de esas especies: las especies centinelas y los biomarcadores. Las primeras se definen como organismos, tanto animales como vegetales, que por sus características de historia de vida (ej. distribución, alimentación, comportamiento) son susceptibles a la exposición y bioacumulación de compuestos tóxicos y contaminantes (Berthet 2013). Al revelarnos cambios en su estado de salud, modificaciones en su comportamiento o tasa de crecimiento, estos organismos se vuelven indicadores del estado de salud del ambiente, de las características de sus hábitats locales (ej. presencia de algún contaminante) y de cambios temporales de la degradación ambiental. Por medio de análisis correlacionales es posible evaluar cómo las respuestas bioquímicas, fisiológicas

y clínicas de los organismos se asocian a la exposición o acumulación de contaminantes en sus tejidos.



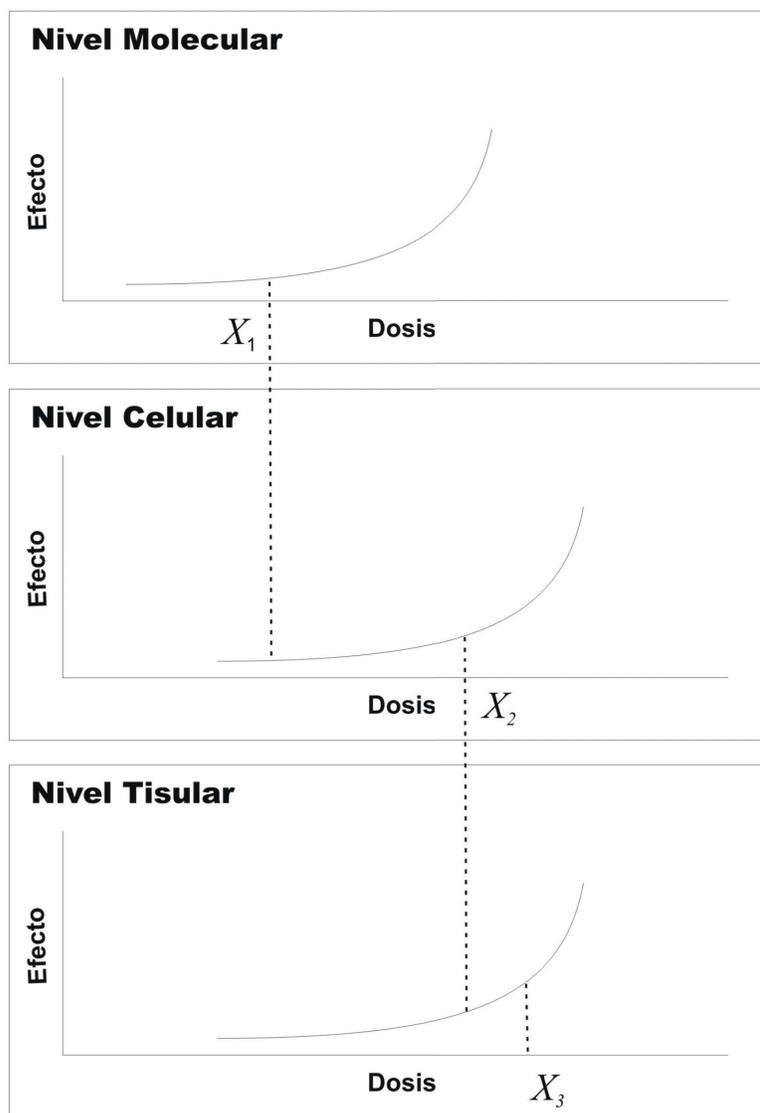
El concepto de biomarcador se desarrolló inicialmente con el objetivo de hacer diagnósticos médicos tempranos, por lo que se comenzó a utilizar en laboratorios toxicológicos para evaluar estados patológicos en mamíferos. El interés por utilizar y aplicar el término en estudios ecotoxicológicos no ocurrió sino hasta la década de 1990. Después de varios debates y de dos Conferencias Internacionales en Ecotoxicología, organizadas por la Sociedad de Ecotoxicología y Seguridad Ambiental, Depledge propone en 1994 la definición más aceptada y acreditada hasta la fecha (Amiard-Triquet, 2013). Un biomarcador se define como cualquier variación bioquímica, celular, fisiológica o de comportamiento que pueda ser medida y cuantificada en un tejido, en una muestra de fluido corporal, o en un organismo, el cual provee evidencia de exposición y/o de los efectos que uno o más contaminantes químicos, radiación, etcétera, estén ocasionado en tiempo o dosis al organismo (Amiard-Triquet, 2013; Stegeman et al. 1992).

Los efectos de los contaminantes químicos y de compuestos tóxicos se reflejan en distintos niveles de organización biológica, desde el nivel molecular y bioquímico hasta las alteraciones fisiológicas y reproduc-

tivas (Amiard-Triquet and Amiard 2013; Stegeman et al. 1992). Los organismos tienen mecanismos eficientes de regulación y reparación; las respuestas bioquímicas son la primera línea de defensa en las células ante la exposición a sustancias tóxicas. La interacción entre el compuesto tóxico y la célula genera una cascada de reacciones bioquímicas con la finalidad de eliminar a la toxina o de defender a la célula contra los efectos adversos (Stegeman et al. 1992).

Estos mecanismos tienen un impacto positivo en la salud de los organismos y les permiten tolerar y sobrevivir los ambientes degradados; sin embargo, el desarrollo de dicha tolerancia, a través de la aclimatación fisiológica a nuevas características del ambiente y la subsecuente adaptación genética, tienen costos energéticos (ej. menor condición corporal) y de *fitness*, es decir, de éxito reproductivo (Amiard-Triquet and Amiard 2013; Dupuy et al. 2015). Así mismo, las respuestas bioquímicas de defensa pueden iniciar eventualmente respuestas inmunes, fisiológicas, histopatológicas y reproductivas

en los organismos (Stegeman et al. 1992). Los biomarcadores pueden ser, por lo tanto, clasificados de acuerdo al nivel de organización biológica en el que ocurren dichas respuestas y la latencia en la dosis-respuesta que presenten. A nivel molecular, los efectos iniciales de la exposición a algún contaminante serán observables a corto plazo a la dosis  $X_1$ , que es menor a la dosis  $X_2$  que induce un efecto a nivel celular y que, a su vez, es menor que la dosis que genera alteraciones a nivel tisular  $X_3$  (Fig. 1). Los efectos bioenergéticos, a la reproducción, a las poblaciones y comunidades serán las respuestas que se observarán a largo plazo, después de meses o incluso décadas (Fig. 2).

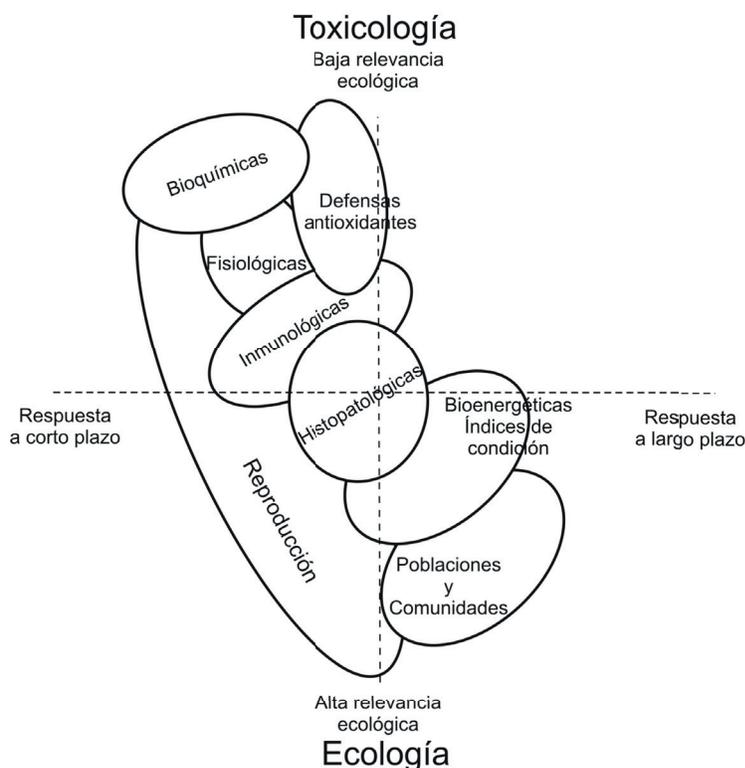


**Figura 1.** Curvas teóricas dosis-respuesta a distintos niveles de organización biológica (Modificado de (Amiard-Triquet and Amiard 2013)).

### **Ecología de la salud**

El enfoque ecosistémico nos dice que los factores bióticos y abióticos se encuentran interrelacionados y que con cada afectación a una pieza del ecosistema se afectará al resto con consecuencias medio ambientales. Cuanto mayor es la demanda, en términos de intensidad del uso de los recursos, los ecosistemas resultan menos sustentables (Díaz, 2015). Los impactos al ambiente resultado de las actividades humanas, como son la contaminación, deforestación, urbanización, acidificación de océanos, producción de gases invernadero y el consecuente calentamiento global, afectan no únicamente a unas cuantas especies o hábitats de manera localizada sino que interactúan con las redes tróficas y los ecosistemas (McCrink-Goode 2014). En los últimos años se ha reconocido la necesidad de desarrollar grupos multinacionales y líneas de investigación multidisciplinarias que evalúen el estado de salud de los hábitats naturales desde un punto de vista ecosistémico, es decir, que integren el estudio de los efectos

puntuales (especies o ambiente) con la medición de las consecuencias poblacionales y medio ambientales en el mediano y largo plazo, generando además estrategias sustentables desde una perspectiva global.



**Figura 2.** Latencia en la ocurrencia de efectos de la exposición a contaminantes a distintos niveles de organización biológica (Modificado de Adams et al., 1989).

La ventaja de utilizar biomarcadores en estudios con interés ecosistémico radica en que éstos son sumamente sensibles al daño y son la primera señal de alteración o variación detectable ante la exposición de contaminantes y perturbación ambiental. Reflejan únicamente el efecto de la fracción de contaminante biológicamente disponible, apuntando a su vez hacia los posibles efectos negativos que un órgano o individuo pueda sufrir (Mayer et al. 1992; Stegeman et al. 1992). Los biomarcadores informan sobre los efectos negativos de la exposición a los contaminantes y de la degradación ambiental mucho tiempo antes de observar los efectos en el ecosistema, como son la disminución del tamaño de las poblaciones, pérdida de la diversidad, alteración de la composición y estructura de las comunidades (Amiard-Triquet, 2013; Mayer et al. 1992;

Van der Oost, Beyer, and Vermeulen 2003). Los estudios que evalúan simultáneamente distintos tipos de marcadores biológicos (hematológicos, endócrinos, estrés oxidativo, condición corporal, etc.) generan interpretaciones más completas del estado de salud de los organismos y de las respuesta metabólicas y fisiológicas que están presentando ante las alteraciones ambientales, permitiendo una evaluación rápida del estado de salud del organismo previo a extenderse los efectos, en última instancia, al nivel de la población y ecosistema (Stegeman et al., 1992; Schlenk y Di Giulio, 2002).

### Discusión académica

La estrecha relación que existe entre las respuestas moleculares, bioquímicas y fisiológicas ante la presencia de xenobióticos ambientales (compuestos químicos presentes en un organismo que no han sido producidos por el mismo), ha aumentado paulatinamente el interés por estudiarlas como marcadores de la exposición a los contaminantes y los efectos metabólicos en organismos acuáticos, marinos y terrestres. Lo

anterior es uno de los objetivos del profesionalista que trabaja en el área de ecología de la salud, quien pretende obtener información sobre las características del hábitat y su grado de conservación, biodisponibilidad de contaminantes y compuestos tóxicos a través del estudio de especies centinelas y sus biomarcadores.

La información que se obtiene con dichos estudios es de utilidad para que las personas encargadas desarrollen y establezcan las regulaciones necesarias, estrategias de mitigación del deterioro ambiental y planes de manejo y de conservación de especies. Esta área de estudio actualmente enfrenta muchos retos que limitan la aplicación de biomarcadores como herramientas generadoras de información confiable para los programas de monitoreo y remediación ambiental. Algunos de los retos son identificar biomarcadores específicos con variación natural reducida, generar rangos de referencia para la eliminación de factores de confusión (sexo, edad, estación, etcétera), identificar la relación dosis-efectos de los contaminantes en organismos en vida libre y evaluar los efectos de mezclas de contaminantes y de sus interacciones, por mencionar algunos (Amiard-Triquet, 2013). En este sentido, la identificación de biomarcadores sensibles y la determinación de valores de referencia de los parámetros de salud por especie, estado reproductivo, sexo, edad, hábitat, etcétera, es una de las prioridades de investigación reconocidas internacionalmente para muchas especies (Cohen and McGraw 2009; Hamann et al. 2010; Labrada-Martagón, 2014; Rees et al. 2016; Wallace et al. 2011).

En las últimas décadas se ha reconocido la importancia de desarrollar estudios sobre salud ambiental y existe un gran número de publicaciones y estudios vigentes que evalúan cómo la degradación ambiental y la contaminación afectan el estado de salud de la fauna silvestre, en México y en el mundo (Fossi et al. 2000; Keller 2013; Van der Oost, Beyer, and Vermeulen 2003; Zúñiga-González et al. 2000, 2001). Si estudiamos peces, aves, tortugas marinas, murciélagos, u otra especie, y logramos conocer sus respuestas fisiológicas y su estado de salud, podremos utilizar a esa especie como centinela. Por otra parte, si registramos el estado de salud de los organismos estacional o anualmente podremos identi-

ficar la aparición de alteraciones fisiológicas, enfermedades nuevas, y el aumento de su prevalencia (enfermedades emergentes) en la población. Los estudios de monitoreo permiten determinar los efectos negativos inmediatos (ej. respuestas inflamatorias, estrés oxidativo) que se presentan en una población, previo a la detección de los efectos a la dinámica poblacional, como puede ser un aumento en las tasas de mortalidad por el aumento en la prevalencia de una enfermedad y/o la disminución en el tamaño de la población debido a la reducción en el número de nacimientos, menor supervivencia y tasa de crecimiento de las crías, entre otros cambios demográficos y de historia de vida que puede generar la degradación ambiental. El estudio sistemático del estado fisiológico y clínico de especies silvestres, mediante el uso de biomarcadores, permitirán identificar alteraciones en los organismos, que eventualmente afectarán el crecimiento de las poblaciones y la biodiversidad de los ecosistemas, así como pondrá en riesgo la salud de la población humana cuando se trate de espe-

cies de consumo humano.

### Agradecimientos

A los proyectos de investigación científica FAI, C16-FAI-09-08.08, 2016, FAI C18-FAI-05-33.33, 2018, PRODEP 2016, DSA/103.5/16/10419. Al Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología COPOCYT, por el recurso brindado para la realización de una estancia de investigación en el Laboratorio de Estrés Oxidativo del CIBNOR, La Paz, a través de su Programa de apoyos especiales para promover la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (IDTI) 2018. Los autores agradecen al DG Gerardo Hernández por el diseño gráfico y a la M. en C. Diana Dorantes por la edición del Abstract.

### Literatura citada

- Adams, S. M., K. L. Shepard, M. S. Jr. Greeley, B. D. Jimenez, M. G. Ryon, L. R. Shugart y D. E. Hinton. 1989. The use of bioindicators for assessing the effects of pollutant stress on fish. *Marine Environmental Research*. 28: 459-464.
- Amiard-Triquet, C. y J. C. Amiard. 2013. *Introduction*. 1–14. En: Amiard-Triquet, C., J. C. Amiard y P. S. Rainbow. (Eds.). *Ecological Biomarkers*. CRC Press. Boca Raton, EU.
- Amiard-Triquet, C., J. C. Amiard y P. S. Rainbow. 2013. *Ecological Biomarkers*. CRC Press. Boca Raton, USA.
- Di Bello, A., C. Valastro, F. Staffieri y A. Crovace. 2006. *Contrast Radiography of the Gastrointestinal Tract in Sea Turtles*. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 47(4): 351–354.
- Berthet, B. 2013. *Sentinel Species*. 155–185. En: Amiard-Triquet, C., J. C. Amiard y P. S. Rainbow. (Eds.). *Ecological Biomarkers*. CRC Press. Boca Raton, USA.
- Castillo-Castañeda, P. C., R. Gaxiola-Robles, L. C. Méndez-Rodríguez, V. Labrada-Martagón, V. y T. Zenteno-Savín. 2016. *Antioxidants, reactive oxygen species and oxidative damage associated to the presence of organochlorine pesticides in breast milk*. *Nutrición Hospitalaria* 33(2): 422-430.
- Cohen, A. A. y K. J. McGraw. 2009. *No Simple Measures for Antioxidant Status in Birds: Complexity in Inter- and Intraspecific Correlations among Circulating Antioxidant Types*. *Functional Ecology* 23: 310–20.
- Díaz-Barriga, F., V. Borja-Aburto, S. Waliszewski y Yáñez L. 2003. *DDT in Mexico*. 371–388. En: Fiedler, H. (Ed.). *The Handbook of Environmental Chemistry Vol. 3, Part O Persistent Organic Pollutants*. Heidelberg: Springer. Berlin, Alemania.
- Díaz, R. 2015. *Desarrollo Sustentable, una oportunidad para la vida*. Mc Graw Hill Education, Ciudad de México, México.
- Dupuy, C., C. Galland, V. Pichereau, W. Sanchez, R. Riso, M. Labonne, R. Amara, G. Charrier, M. Fournier y J. Laroche. 2015. *Assessment of the European Flounder Responses to Chemical Stress in the English Channel, Considering*

- Biomarkers and Life History Traits*. Marine Pollution Bulletin 95(2): 634–645.
- Fossi, M. C., L. Marsili, G. Neri, S. Casini, G. Bearzi y E. Politi. 2000. *Skin Biopsy of Mediterranean Cetaceans for the Investigation of Interspecies Susceptibility to Xenobiotic Contaminants*. Marine Environmental Research 50: 517–521.
- Hamann, M., M. Godfrey, J. A. Seminoff, K. Arthur, P. C. R. Barata, K. A. Bjorndal, A. B. Bolten, A. Broderick, L. Campbell y C. Carreras. 2010. *Global Research Priorities for Sea Turtles: Informing Management and Conservation in the 21st Century*. Endangered Species Research 11: 245–269.
- Keller, J. M. 2013. *Exposure to and Effects of Persistent Organic Pollutants*. 285–328. En: Wyneken, J., K. Lohmann y J. A. Musick (Eds.). *The Biology of Sea Turtles Vol III*. CRC Press. Boca Raton, EU.
- Labrada-Martagón, V., P. Tenorio, L. C. Méndez-Rodríguez y T. Zenteno-Savín. 2011. *Oxidative Stress Indicators and Chemical Contaminants in East Pacific Green Turtles (Chelonia Mydas) Inhabiting Two Foraging Coastal Lagoons in the Baja California Peninsula*. Comparative Biochemistry and Physiology - C Toxicology and Pharmacology 154(2): 65–75.
- Labrada-Martagón, V., T. Zenteno-Savín y M. Mangel. 2014. *Linking Physiological Approaches to Marine Vertebrate Conservation: Using Sex Steroid Hormone Determinations in Demographic Assessments*. Conservation Physiology 2(1): cot035.
- Mayer, F. L., D. J. Versteeg, M. J. McKee, L. C. Folmar, R. L. Graney, D. C. McCume y B. A. Rattner. 1992. *Physiological and Nonspecific Biomarkers*. 5–85. En: Huggett, R. J., R. A. Kimerle, P. M. Jr. Mehrle y H. L. Bergman (Eds.). *Biomarkers. Biochemical, Physiological and Histological Markers of Anthropogenic Stress*. Lewis Publishers. Chelsea, EU.
- McCauley, S. J., y K. A. Bjorndal. 1999. *Conservation Implications of Dietary Dilution from Debris Ingestion: Sublethal Effects in Post-Hatchling Loggerhead Sea Turtles*. Conservation Biology 13: 925–929.
- McCrink-Goode, M. 2014. *Pollution: A Global Threat*. Environment International 68C: 162–170.
- Van der Oost, R., J. Beyer y N. P. E. Vermeulen. 2003. *Fish Bioaccumulation and Biomarkers in Environmental Risk Assessment: A Review*. Environmental Toxicology and Pharmacology 13: 57–149.
- Parker, L. 2016. *We Made Plastic. We Depend on It. Now We're Drowning in It*. National Geographic.
- Rees, A. F., J. Alfaro-Shigueto, P. C. R. Barata, K. A. Bjorndal, A. B. Bolten, J. Bourjea. 2016. *Are We Working towards Global Research Priorities for Management and Conservation of Sea Turtles?* Endangered Species Research 31: 337–382.
- Rodríguez-López, A., R. Mejía-Saucedo, J. Calderón-Hernández, L. Llamazares-Azuara y L. Yañez. 2016. *Alterations in the Menstrual Cycle of Teenagers Not Occupationally Exposed to a Mixture of Pesticides in a Agricultural Area of San Luis Potosí*. Toxicology Letters 259: S111.
- Stegeman, J. J., M. Brouwer, R. T. Di Giulio, L. Förlin, B. A. Fowler, B. M. Sanders y P. A. Van Veld. 1992. *Molecular*



*Responses to Environmental Contamination: Enzyme and Protein Systems as Indicators of Chemical Exposure and Effect.* 235–335. En: Huggett, R. J., R. A. Kimerle, P. M. Jr. Mehrle y H. L. Bergman. (Eds.). *Biomarkers. Biochemical, Physiological and Histological Markers of Anthropogenic Stress.* Lewis Publishers. Boca Raton, EU.

Tremblay, N., A. Ortíz, M. González y J. Rendón-Von Osten. 2017. *Relationship between Organochlorine Pesticides and Stress Indicators in Hawksbill Sea Turtle (Eretmochelys Imbricata) Nesting at Punta Xen (Campeche), Southern Gulf of Mexico.* *Ecotoxicology* 26(2): 173–183.

Wallace, B. P. et al. 2011. *Global Conservation Priorities for Marine Turtles.* *PLoS ONE* 6(9): e24510.

Yarto, M., A. Gavilán y J. Barrera. 2003. *El Convenio de Estocolmo Sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes Y Sus Implicaciones Para México.* *Gaceta Ecológica* (69): 7–28.

Zúñiga-González, G., O. Torres-Bugarín, J. Luna-Aguirre, A. González-Rodríguez, A. Zamora-Pérez, B. Gómez-Meda, M. L. Ramos-Ibarra, A. Ramos-Mora, G. G. Ortiz y M. P. Gallegos-Arreola. 2000. *Spontaneous Micronuclei in Peripheral Blood Erythrocytes from 54 Animal Species.* *Mutation Research* 467: 99–103.

Zúñiga-González, G., O. Torres-Bugarín, A. Zamora-Pérez, B. Gómez-Meda, M. L. Ramos-Ibarra, S. Martínez-González, A. González-Rodríguez, J. Luna-Aguirre, A. Ramos-Mora, D. Ontiveros-Lira y M. P. Gallegos-Arreola. 2001. *Differences in the Number of Micronucleated Erythrocytes among Young and Adult Animals Including Humans. Spontaneous Micronuclei in 43 Species.* *Mutation Research* 494: 161–167.

#### Cita de este artículo

Labrada-Martagón V. 2018. *Biomarcadores y Salud Ecológica.* *Recursos Naturales y Sociedad*, 2018. Vol. 4 (2): 9-20. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2018.04.04.02.0001>

Sometido: 16 de Julio de 2018

Revisado: 27 de Julio de 2018

Aceptado: 29 de Septiembre de 2018

Editora asociada: Dra. Tania Zenteno Savin

Idioma Ingles Resumen: Ms.C. Diana Dorantes

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández

