

Cultura Científica y Tecnológica

Enero – Febrero, 2005. Año 2, N° 6

CULCyT

Columnas:

Fernández

Garza

Martínez

Padilla

Rodas

Carta del Editor
Leer Ciencia

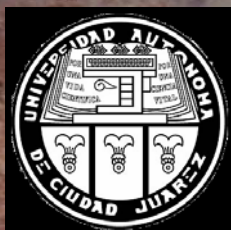
Superioridad de la Regresión
General Ridge Sobre Mínimos
Cuadrados

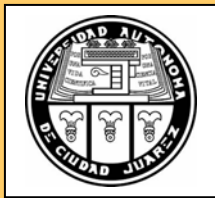
Piña Monarrez, Rodríguez Medina y
Díaz Núñez

El Lector Científico
Lederberg

Indicadores Biológicos en la Evaluación de la Contaminación
por Agroquímicos en Ecosistemas Acuáticos y Asociados

Badii Zabeh, Garza Cuevas, Garza Almanza y Landeros Flores





Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Dr. Felipe Fornelli Lafón
Rector

Quím. Héctor Reyes Leal
Secretario General

Dr. Gerardo Reyes Macías
Director del IIT

M.I. Gerardo Sandoval
Coord. de Investigación IIT

CULCyT

Fundador y Director Editorial

Dr. Victoriano Garza Almanza

Comité Editorial

Dr. Mohammad Badii

Dr. Pedro Cesar Cantú

MC Luis Felipe Fernández

Dra. Perla Elvia García

Dr. Victoriano Garza

Dr. Victor Hinostrza

Dr. José Mireles Jr.

Dr. Barry Thatcher

Dr. Hugo Vilchis

Dra. Leticia Villarreal

Columnas

MC Luis Felipe Fernández.
Coordinador

Dr. Victoriano Garza

Ing. Carlos Martínez

MC Gerardo Padilla

Dr. Jorge E. Rodas O.

Portada: V. Garza A.



Don Quixote

Cultura Científica y Tecnológica (CULCyT) es una revista académica multidisciplinaria, publicada bimestralmente por el Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, que tiene como misión contribuir a la formación integral de los jóvenes universitarios y fomentar el interés público por la ciencia y la tecnología. La revista **CULCyT** es editada por el Programa para la Formación de Investigadores del IIT. Registro en trámite. **Oficina:** Av. del Charro 610 Nte. Edificio "E" 213-E. C.P. 32310. Cd. Juárez, Chihuahua. MÉXICO.

Tel/Fax (52-656) 688-48-46.

Correo electrónico: vgarza@uacj.mx y culcyt@yahoo.com.mx

Los autores son responsables de sus textos.

CULCyT en línea: <http://www.uacj.mx/IIT/CULCYT/default.htm>

CULCyT

CONTENIDO

Enero – Febrero. 2004.
Año 2, N° 6



PORTADA
Horno Ladrillero
Cd. Juárez. Chihuahua.
V. Garza A.

EDITORIAL

Carta del Editor 3

ARTÍCULO PRINCIPAL

Los Indicadores Biológicos en la Evaluación de la Contaminación por Agroquímicos en Ecosistemas Acuáticos y Asociados 4

TEORÍA DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Superioridad de la Regresión General Ridge Sobre Mínimos Cuadrados 21

EXCERPTA

El Lector Científico 27

COLUMNAS

Luis F. Fernández	A veces me siento y pienso... y a veces, nada más me siento	31
Victoriano Garza	Publica o Perece	32
Carlos Martínez	<i>Ba'huí</i>	33
Gerardo Padilla	El Software en México	34
Jorge E. Rodas	La Puerta	35

HERRAMIENTAS

El cartel como recurso para presentar
Resultados de investigación científica 36

GALERÍA

Sesión de carteles
Diplomado para la Formación de Investigadores 39

Carta del editor



Leer Ciencia

La preparación y trabajo permanente de un científico tiene diversas facetas, una de ellas es la lectura de lo más relevante que está ocurriendo y publicándose en su campo de estudio. Cuando una de estas personas, es decir, un científico, ha decidido leer algo que le ha llamado la atención, es porque ya realizó un proceso de búsqueda de información, identificación de la que más promete, análisis y selección de la mejor, y, por último, la entrega individual –y hasta con disfrute– a la lectura cuidadosa de eso que parece contener cierta esencia original, o sea, el genuino conocimiento de frontera.

Joshua Lederberg (*El lector científico*, pp. 27), Premio Nóbel de Medicina 1958, se da tiempo para relatar como es la semana de trabajo de un científico de alto nivel a finales del siglo XX. Contra lo que se pudiera pensar, en una visión romántica del quehacer científico –estilo siglo XIX y principios del XX– dónde el sabio no duerme en semanas y llega al grado de inocularse a sí mismo los más peligrosos virus en un afán de salvar a la humanidad, su trabajo es más rutinario y menos aventurado y riesgoso que eso. Como él mismo lo señala, después de revisar y seleccionar diariamente la información pertinente, y, ¡ojo!, de tomar notas y reflexionar sobre ella, procede a darle un seguimiento a sus propias investigaciones, conversar y dar nuevas indicaciones a sus colegas y subordinados.

En la ciencia, la que por la cantidad de conocimiento que genera día con día está dividida en cientos y cientos de disciplinas y subdisciplinas –hasta existen científicos de la ciencia que se encargan de elaborar puntillosos mapas conceptuales de ésta–, y a la cual a cada año que pasa se agregan muchas más, el científico debe navegar como lo hicieron en el pasado los antiguos exploradores: con una carta geográfica en mano que más o menos describa el territorio por el que se mueve y tanteando en medio de la enorme cantidad de información, como si fuera un mar desconocido, las aguas repletas de millones de datos por las que surca. Esta clase de científicos busca las estrellas en el horizonte que le guiarán a su destino.

En el mundo de hoy, el camino de la ciencia comienza en la información y termina creando información, es por esto que las universidades deben de invertir en modernas bibliotecas y bases de datos especializadas, que serán la plataforma de salida y retorno de los futuros investigadores. La mejor manera de acceder a las nuevas y grandes ideas y de proponer en el campo de la ciencia, es la lectura; lo que en la práctica sigue a ésta –el quehacer científico en sí– depende de la visión y arrojo intelectual del investigador en ciernes.

Victoriano Garza Almanza

Los Indicadores Biológicos en la Evaluación de la Contaminación por Agroquímicos en Ecosistemas Acuáticos y Asociados

Ph.D. Mohammad H. Badii Zabeh¹, Dr. Raúl Garza Cuevas², Dr. Victoriano Garza Almanza³, Dr. Jerónimo Landeros Flores⁴

INTRODUCCIÓN

En el análisis de las aguas continentales es imposible dissociar el binomio agua-desarrollo pues el uso de las aguas dulces es un elemento obligado en el desarrollo de las sociedades humanas. Desde tiempo atrás, el uso del agua ha estado creciendo en forma exponencial con los consecuentes problemas de contaminación. La contaminación tiene diferentes connotaciones pero cuando ésta afecta a las aguas dulces puede ser descrita como la descarga de materiales hacia un cuerpo de agua natural, el cual sufre efectos adversos en la calidad de vida animal y vegetal presente en el sitio. Por otra parte, el entendimiento del origen de los contaminantes, su tratamiento y su efecto en los ecosistemas acuáticos, es, hoy en día, una parte importante de la interpretación de la ecología acuática.

Las acciones de los seres humanos afectan ostensiblemente a un sinnúmero de ecosistemas acuáticos, modificando con ello la evolución natural de los mismos en diferentes escalas. En el afán de hacer rendir más las cosechas de los alimentos necesarios para consumo humano, el hombre ha utilizado sustancias para controlar las plagas y malezas de sus cultivos y resulta innegable que mediante el uso de las mismas, se

ha logrado ampliar el horizonte agrícola conforme a la demanda derivada del crecimiento de la población. El uso de estas sustancias de manera indiscriminada e irresponsable acarrea problemas a diferentes organismos y a sus poblaciones; Esto ocurre desde el proceso químico de la manufactura de las sustancias y en donde se generan residuos considerados agentes químicos tóxicos, los cuales si no tienen un manejo adecuado pueden constituirse en un riesgo para el ambiente y la salud humana hasta el uso y la aplicación de los agroquímicos con la consecuente afectación de la integridad de los atributos ecológicos de los sistemas naturales acuáticos y terrestres. En la actualidad se han desarrollado diversas técnicas para evaluar los efectos que traen consigo las variadas actividades antropogénicas que presentan un impacto probable en la salud humana y en el ecosistema. Entre los diferentes instrumentos de evaluación están la metodología del análisis de riesgo ecológico y ambiental y junto con ellas, el uso de indicadores biológicos para monitorear la salud o la integridad de los ecosistemas acuáticos.

PROPÓSITO

Establecer la relación que existe entre la contaminación del agua, especialmente en los ecosistemas acuáticos, que aún conservan sus características naturales pero que han sido afectados por la presencia de sustancias químicas de uso agrícola y la respuesta de los diferentes componentes biológicos de las comunidades acuáticas, considerando, de manera primordial, el énfasis en las rutas y los efectos negativos en la integridad de las diferentes formas de vida.

DECLARACIÓN DE NECESIDAD

La evaluación de la calidad del ambiente, en particular de las comunidades acuáticas, ha sido por tradición, desarrollada con base en métodos soportados por mediciones y determinaciones de las características físicas y químicas del agua. Cuando se trata de estimar o determinar la calidad ambiental en general, son aplicados los procedimientos físico-químicos clásicos para denotar el grado de calidad o afectación del parámetro estudiado. Un ejemplo es la calidad del agua para consumo humano, la cual puede

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León. Ap. 391, San Nicolas, N. L., 66450.

mhbadii@yahoo.com.mx

² Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Campus Monterrey.

garzacuevas@itesm.mx

³ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

vgarza@uacj.mx

⁴ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. ilanflo@uaaan.mx

considerar, en el caso de metales pesados, la concentración de los mismos para definir si es “buena o mala”, tal es el caso del plomo, metal que, si rebasa la concentración de 0.003 partes por millón no es recomendable que se consuma. Sin embargo, la inclusión de la respuesta de los organismos en distintas escalas, desde biomarcadores hasta comunidades, es ahora una alternativa y un complemento en la evaluación de la calidad del ambiente. Una de las premisas más importantes de la bioevaluación o biomonitoreo es la de que los esquemas físico-químicos nos son capaces de detectar los daños en las comunidades biológicas. La bioevaluación o biomonitoreo puede revelar impactos o efectos futuros y presentes que están enmascarados, tales como nuevas sustancias tóxicas que han ingresado al ambiente o posibles cambios en las propiedades físicas. Otra ventaja es que pueden ser estudiados los cambios o alteraciones a largo plazo sobre el ecosistema. Por estas razones es importante incorporar, a los métodos de evaluación de la calidad ambiental y de la integridad de los ecosistemas, mecanismos como los indicadores biológicos que complementen a los métodos tradicionales.

ANTECEDENTES

En la actualidad, son miles los productos químicos orgánicos que son utilizados para control de plagas y de enfermedades que se manifiestan en las actividades agrícolas y ganaderas, los cuales, dependiendo del objetivo para el cual están destinados, pueden clasificarse en:

- Insecticidas. Utilizados para la destrucción de insectos.
- Fungicidas. Destrucción de hongos y prevención de enfermedades en los cultivos.
- Herbicidas. Eliminación de malas hierbas y plantas indeseables.
- Rodenticidas. Eliminación de roedores.
- Nematicidas. Eliminación de gusanos.
- Moluscicidas. Eliminación de caracoles.

La mayoría de los insecticidas son biodegradables y se hidrolizan en otros productos que no resultan peligrosos, sin embargo, los hidrocarburos clorados son resistentes a la degradación y se hidrolizan con mucha lentitud, razón por la cual han sido denominados plaguicidas persistentes o “duros”.

En cambio, los plaguicidas constituidos a base de carbamatos y los de base de fósforo orgánico, también llamados organofosforados, se degradan con mayor rapidez en el medio ambiente, por lo que se les llama plaguicidas suaves o “ligeros”; sin embargo, estos son más tóxicos para el ser humano.

1 Breve Historia de los Indicadores Biológicos.

La sostenibilidad de cualquier sistema, especialmente de los ecosistemas, requiere en su operación de indicadores que puedan servir como herramientas de información para la evaluación de las consecuencias ambientales derivadas de las actividades sociales y económicas (**Bittermann & Haberl, 1998**). **Costanza (1992)** sugiere que un ecosistema es saludable si este es activo y mantiene su organización y autonomía en el tiempo y su capacidad de amortiguación. **Costanza** va más allá, propone un índice de salud del ecosistema como el producto del vigor del ecosistema (la producción primaria o el metabolismo), organización (diversidad de especies o interacciones) y la capacidad de adaptabilidad (resistencia o recuperación a los daños). Por su parte, **Karr (1998)** menciona que esos criterios no son defendibles debido a que, al aplicarlos a distintos casos como un ecosistema acuático, podría definirse entonces que un lago oligotrófico es menos saludable que un lago eutrófico altamente productivo.

La degradación de los recursos acuáticos ha sido motivo de preocupación para el hombre de los últimos tiempos. Los primeros esfuerzos para determinar el daño ecológico causado por residuos domésticos e industriales en las corrientes de agua fueron realizados por **Kolkwitz & Marson (1902, 1908, 1909)**, creando de esta manera las bases del sistema saprobio, ampliamente utilizado hoy día en Alemania y algunos países europeos. No fue sino hasta mediados de los años 50 del siglo XX, cuando comenzaron a utilizarse diferentes metodologías de evaluación de la calidad del agua mediante el uso de indicadores biológicos. **Patrick (1949, 1950)** propuso métodos biológicos para evaluar las condiciones ecológicas de las corrientes de agua.

A finales de los 50 y principios de los 60 comenzó a discutirse el concepto de diversidad

de especies basada en índices matemáticos derivados fundamentalmente de la teoría de la información (**Brillouin, 1951; Beck, 1955; Margalef, 1951, 1956, 1958; Shannon & Wiener, 1949; Simpson, 1949; Whilm, 1970; Sheldon, 1969**). Por otra parte, **Washington (1984)**, hace una revisión de los índices de diversidad, bióticos y de similitud con especial referencia a los ecosistemas acuáticos. Presenta 18 índices de diversidad, 19 índices bióticos y 5 índices de similitud, y analiza su aplicabilidad para los sistemas biológicos. Para él, la mayoría de los índices no son totalmente satisfactorios. **Prat et al, (1986)** realiza en España una comparación entre dos índices de la calidad del agua, uno que utiliza parámetros físico-químicos (ISQA) y el otro, parámetros biológicos (BILL), encontrando baja correlación entre ellos.

Barbour et al, (1995), presentan un total de 63 tipos de mediciones para evaluación rápida de los ecosistemas. De ellos: a) 8 corresponden a “medidas de riqueza” los cuales se fundamentan en el número de taxones encontrados; b) 15 se refieren a “enumeraciones” que son en realidad cálculos basados en porcentajes de determinados organismos; c) 15 corresponden a los “índices de diversidad y similitud de la comunidad” donde están los más conocidos; d) 12 se refieren a los “índices bióticos” siendo los más conocidos el BMWP y el índice de saprobiedad; e) 10 índices conocidos como “mediciones funcionales”, donde se considera el tipo de función que desempeñan los organismos en la comunidad, como por ejemplo: colectores, filtradores, trituradores, depredadores, etc.; f) por último se consideran 3 medidas denominadas “índices combinados” dentro de los cuales se menciona el índice de la comunidad de macro invertebrados, el promedio de puntaje biométrico y el puntaje de la condición biológica.

En la década de los años 80 y de los 90 comienza a generalizarse el uso de estos índices y a proponerse otros nuevos o modificaciones de los existentes. **Karr (1991)** introduce el concepto de Índice de Integridad Biológica (IBI), el cual es una herramienta multiparámetro para la evaluación de las corrientes basada en la comunidad de peces. Dada la aceptación que este método ha tenido en Estados Unidos, se ha extendido su uso a otros grupos biológicos. **Armitage & Petts (1992)** examinan la posibilidad de usar puntajes bióticos y las predicciones basadas en el sistema computarizado conocido como RIVPACS (River

Invertebrate Prediction and Classification System) (**Wright, 1995**). Para valorar la pérdida de fauna béntica. Wright aplica el método RIVPACS en la Gran Bretaña y llega a la conclusión de que no sería válido para otras regiones de Europa, dado que en la isla no existen ríos tan grandes como en el continente.

Resh et al. (1995) desarrollan en Maryland (USA) métodos rápidos de evaluación del agua usando los macro invertebrados acuáticos como bioindicadores. **Alba-Tercedor (1996)** adopta la utilización de los macro invertebrados acuáticos en los programas de evaluación de la calidad del agua en España. **Towsend et al. (1997)** califican la perturbación de las aguas en relación con las características de las especies de macro invertebrados y la riqueza de dichas especies. **Munné et al. (1998)** establecen en España un índice de calidad que valora el estado de conservación del bosque de ribera (QBR) y se trata de comparar el estado actual del sistema que se estudia con un estado de referencia donde la biodiversidad y la funcionalidad del sistema solamente estarían perturbados por las perturbaciones de origen natural.

2 Ecotoxicología de los Agroquímicos

Generalidades. Por varias décadas la vida silvestre ha enviado señales de alerta acerca de los daños causados por la contaminación química. Uno de los primeros esfuerzos en llamar la atención sobre los daños de la contaminación química fue el libro, *Silent Spring*, de la bióloga, Rachel Carson, quien se enfocó principalmente en la primera generación de sustancias químicas –organocloradas–, sobre todo en su capacidad de eliminar la vida silvestre y en los impactos subletales como los efectos en la reproducción y en los sistemas inmunes. Muchas de estas sustancias aún se comercializan en la actualidad.

En la época actual, un buen número de científicos está de acuerdo en que muchas sustancias sintéticas son capaces de bloquear el funcionamiento de los sistemas endocrinos fundamentales de los seres humanos y de la vida silvestre con profundos efectos en el ámbito de la población de muchas especies. El uso de las sustancias sintéticas continúa incrementándose en el mundo. Desde 1940 hasta 1982, el uso de estas sustancias se incrementó 350 veces y la producción estimada de compuestos orgánicos sintéticos en Estados Unidos fue de 200 millones

de toneladas en 1992 pero, la producción mundial es estimada en 4 veces más, esto es, 800 millones de toneladas por año (**Rutherford, 1996**).

Muchos de estos compuestos son persistentes y bioacumulativos, magnificándose en la cadena de alimentos y con frecuencia absorbidos en la grasa corporal donde pueden causar estragos por un largo tiempo pasándose de una generación a otra de las madres a las crías.

A través de los procesos de biomagnificación y bioacumulación, el impacto de las sustancias tóxicas ha sido mayor sobre los animales que se encuentran al final de la cadena de alimentos tales como aves rapaces, peces y mamíferos incluyendo a los seres humanos (**Aulerich et al., 1973; Kubiak et al., 1989; Colborn, 1991; Hoffman et al., 1993; Giesy et al., 1994**) y especialmente en animales de gran longevidad como tortugas (**Bishop et al., 1991**). En los huevos de las tortugas que habitan cerca de las costas del lago Ontario y el lago Erie se ha encontrado una asociación entre el poco éxito de la crianza y el incremento en la tasa de deformidades de las crías con altas concentraciones de PCBs, organoclorados y dibenzofuranos.

Los efectos a largo plazo de las sustancias tóxicas sobre plantas y herbívoros no están aun bien entendidos. Los herbicidas de los escurrimientos de las parcelas agrícolas pueden interferir con el crecimiento de las plantas acuáticas en los humedales. Los herbicidas presentes en los humedales y bahías del Lago Erie están en niveles lo suficientemente altos para alterar la composición planctónica de las especies, inhibir la fotosíntesis de las algas y de las comunidades de plantas emergidas (**Dodge y Kavetsky, 1995**).

En los humedales la composición de especies se ve afectada por la aplicación de herbicidas usados para eliminar a las plantas vasculares. Ésta acción provoca una explosión de las poblaciones de algas, siendo las algas bénticas, las primeras en incrementar su número porque se benefician de la abertura de la superficie a la entrada de la luz solar, luego estas estabilizan los sedimentos del fondo y por lo tanto reducen la turbidez abriendo el camino para el metafíton, como los individuos de la especie *Chara* sp., la cual reduce la turbidez (**Crawford, 1981**).

Un cambio en la composición de especies de las grandes algas clorofitas filamentosas a pequeñas especies de diatomeas y algas azul-verdes, particularmente del orden Chaemaesiphonales, es también un signo de los efectos de los herbicidas sobre los humedales (**Goldsborough y Robinson, 1983; Gurney y Robinson, 1989; Hamilton et al., 1987; Herman et al., 1986**).

La atrazina es un herbicida ampliamente usado y se ha encontrado que reduce la productividad y el crecimiento de las algas en más del 40 % cuando se encuentra en concentraciones mayores a 1 mg/L (**Johnson, 1986**). Otras evidencias sugieren que concentraciones de atrazina tan bajas como 0.001 mg/L pueden ser capaces de alterar la composición de las especies de algas (deNoyelles et al., 1982) y de la biomasa (**Herman et al., op. cit.**), y los efectos pueden depender de la duración de la exposición (**Jurgensen y Hoagland, 1990**).

Pruebas de laboratorio de 23 agroquímicos (20 herbicidas, 2 insecticidas y 1 fungicida) en concentraciones esperadas para un ambiente real resultaron con impactos en un amplio rango de taxa de algas. Los que causaron el menor daño a las algas fueron el fungicida propiconazola y los herbicidas picloram, bromoxynil y el triclopyr. Los ensayos de campo indicaron que el triclopyr puede ser relativamente poco tóxico para las plantas vasculares de los humedales (**Gabor et al., 1993**).

Johnson encontró también que otros dos herbicidas (triallate y treflan) estimularon la productividad sintética entre un 20 y 30 % dos semanas después de su aplicación. Sin embargo, el triallate puede ser altamente persistente bajo ciertas condiciones pero sus efectos a largo plazo no fueron determinados (**Sheehan, et al. 1987**). El carbofuran puede ligeramente estimular el crecimiento de las algas cuando se encuentra en concentraciones de 10 a 100 mg/L. El phorate no mostró efectos y el fonofos inhibió el crecimiento algal después de 30 días, sugiriendo que la degradación del producto fue responsable de la toxicidad. Después de aplicar otro popular herbicida, el glyphosate, al mesocosmos de un humedal en una tasa de 2.5 L/ha., Shaw (**1992**) reportó un ligero efecto estimulante sobre la productividad del fitoplancton en concentraciones menores de 0.1 mg/L. Sin embargo, concentraciones mayores deprimieron la actividad de las algas en un grupo de cuatro humedales y el autor notó que concentraciones

menores podían ser tóxicas para las algas en aguas con bajo contenido de calcio y magnesio.

Por otra parte, los efectos sobre los invertebrados, especialmente en la composición de especies, se ha encontrado que entre los insecticidas el piretroide sintético, en particular el deltamethrin, son particularmente más tóxicos que los organoclorados, organofosforados y carbamatos (Sheehan, *et al.*, *op.cit.*). Pero entre los invertebrados, los moluscos sean una posible excepción al caso. Las moscas de mayo y los anfípodos tienden a ser más sensibles a la mayoría de los insecticidas que los Jejenes y los escarabajos acuáticos adultos. En uno de los pocos ensayos conducidos en un humedal, Johnson encontró los insecticidas carbofuran, fonofos y phorate con una alta toxicidad para dos invertebrados, una especie de *Daphnia* sp y una de Jején. La toxicidad del carbofuran en los invertebrados acuáticos fue corroborada por Wayland y Boag (1990, 1995) en bioensayos de humedales.

La respuesta de los invertebrados a los herbicidas no es tan letal como con los insecticidas, quizá los herbicidas más tóxicos son las triazinas, incluyendo el de uso común, el atrazina. Este ha demostrado causar cambios en la composición de la comunidad y en los tiempos de emergencia de los insectos acuáticos en concentraciones de 2 mg/L (Dewey, 1986) y cantidades tan pequeñas como 0.230 mg/L reducen el desarrollo de los jejenes (Macek *et al.*, 1976). Los anfípodos (*Gammarus*, *Hyallolella*), el camarón almeja (*Lynceus brachyurus*) y un buen número de especies del zooplancton son muy sensibles a determinados agroquímicos, sin embargo, la mayoría de los caracoles acuáticos y gusanos son menos sensibles (Sheehan *et al.*, *op.cit.*; McCarthy y Henry, 1993). Anfípodos son especialmente útiles como indicadores de la contaminación por su relativa estacionalidad, es decir, que ellos no emergen y vuelan fuera del humedal como algunos insectos acuáticos, su presencia es más indicativa de condiciones a largo plazo del humedal. Otros organismos que también presentan sensibilidad, son los nemátodos, principalmente los de la subclase Adenophorea tienden a ser más sensibles que los de la subclase Sercenentea (Bongers, 1990; Platt *et al.*, 1984; Zullini y Peretti, 1986). En el caso de la bioacumulación, los invertebrados que parecen ser más sensibles sobre aquellos de cubierta arenosa más que los de cubierta fangosa (Muir *et al.*, 1983).

3 Bioindicadores Individuales

Los bioindicadores llamados biomarcadores, son simplemente la respuesta de los organismos vivos que están expuestos a los contaminantes o bien, que pueden ser útiles para predecir el daño futuro e incluso, pueden por sí mismos presentar los efectos dañinos. El contexto en el que debe interpretarse un biomarcador cae en el ámbito bioquímico, fisiológico o morfológico pero no debe considerarse como un bioindicador la escala de “población o de comunidad”, tal como, la riqueza de especies, la variabilidad genética o una especie centinela.

El programa BEST (Biomonitoring of Environmental Status and Trends) del Servicio de Vida Silvestre de los Estados Unidos ha propuesto el uso de varios biomarcadores para identificar los problemas de contaminación en animales por agroquímicos, entre ellos están: la acetilcolinesterasa (AChE) donde las concentraciones reducidas de esta enzima en aves, anfibios e invertebrados puede indicar exposición de unas cuantas horas o días a insecticidas organofosforados y carbamatos (Ludke *et al.*, 1975) y quizá a metales pesados. Otra enzima utilizada es el Sistema de Citocromo P450 Mono-oxigenasa (MO), donde elevadas concentraciones de esta enzima, en aves indica la exposición a varios hidrocarburos orgánicos. Lo mismo sucede con la enzima Porphirina ácido hexacarboxílico (HCP); lo contrario ocurre con la enzima retinol (Vitamina A), donde la exposición a los hidrocarburos orgánicos disminuye la concentración de la enzima (Wobeser y Kost, 1992).

Colinesterasa. En la mayoría de los casos, la respuesta de un bioindicador a un contaminante particular es fortuita debido a que los contaminantes surgen de los procesos antropogénicos y son independientes de los procesos propios de las formas de vida silvestre. No obstante, las sustancias que actúan contra la colinesterasa, como los compuestos de carbamato y los organofosforados, fueron diseñados para causar la muerte por inhibición de la actividad de la colinesterasa. Aún y cuando dichos compuestos fueron creados para controlar las plagas agrícolas, son agentes que directa e indirectamente también han causado la muerte de vertebrados silvestres. El uso de la inhibición de la colinesterasa en la determinación de la causa de muerte de un organismo es más útil que la

misma inhibición en un organismo vivo. Un resultado mayor o igual al 50 % de inhibición de la actividad de la colinesterasa en el cerebro junto con la presencia residual de carbamatos u organofosforados, en la carcasa, es considerado un diagnóstico certero de la causa de muerte de aves, (**Ludke et al., op.cit.**). La efectividad del uso de la inhibición de la colinesterasa como biomarcador en organismos vivos, en particular de animales colectados en campo, depende de la calidad en los valores de control y de que las muestras inhibidas puedan ser demostradas que son significativamente diferentes de los valores de control. Normalmente, se usan más, menos dos desviaciones estándar alrededor de la media de control (**Ludke et al., op.cit.; Hill, 1982**). Ya se dijo que los organofosforados y los carbamatos provocan la inhibición de la acetilcolinesterasa de las terminaciones nerviosas colinérgicas. Para explicar el mecanismo se considerará el paratión, que para ser inhibidor de la acetilcolinesterasa debe, primeramente, ser biotransformado en su forma análoga oxón (paraoxón), a través de desulfuración oxidativa. La acetilcolinesterasa tiene la función de hidrolizar la acetilcolina, mediador del sistema nervioso en las terminaciones de las fibras postganglionares y en los ganglios del sistema parasimpático de la unión neuromuscular y del sistema nervioso central, produciendo colina y ácido acético. La molécula de la acetilcolinesterasa tiene dos sitios activos, un sitio aniónico y un sitio catiónico o estereáico. Con los compuestos organofosforados (forma oxón) lo que acontece con la colinesterasa, es análogo a la situación de la acetilcolina; con todo el sitio más común de reacción es el estereáico. La diferencia básica es que la enzima fosforilada es reactivada por hidrólisis lenta, bloqueando así el acceso de la enzima al substrato natural de acetilcolina. (**Johnson, 1975**).

Citocromo P450. El citocromo P450 es una hemoproteína que está presente en todos los tejidos pero se encuentra en altas concentraciones en el hígado. Este compuesto puede ser inducido, es decir, puede incrementarse la cantidad del citocromo P450 en organismos que son tratados con una variedad de compuestos químicos orgánicos. Las dos clases mayores de citocromos P450 que son inducidos por contaminantes, son: 3-metilcolantreno-inducible y el fenobarbital-inducible (**Hansen, 1972**).

Mono-oxigenasa en microsomas o fracción S9. Asociado con el citocromo P450 existe la actividad de un amplio rango de enzimas referidas como mono-oxigenasas. En un organismo la actividad de estas enzimas incrementa la polaridad de los xenobióticos lipofílicos, además de acelerar la eliminación y desintoxicación, sin embargo, también pueden alcanzar la generación de más formas tóxicas.

4 Propiedades de los Agroquímicos que determinan su Cinética Ambiental

Entre las propiedades de los agroquímicos que determinan su cinética ambiental se encuentran:

Solubilidad en el agua. Las sustancias con solubilidad acuosa mayor a 500 partes por millón (ppm) son muy móviles en los suelos y en los otros elementos del ecosistema; su mayor concentración se encuentra en los ecosistemas acuáticos. Por otro lado las sustancias con una solubilidad acuosa mayor a 25 ppm no son persistentes en los organismos vivos, en tanto que aquellos con una solubilidad acuosa menor a 25 ppm tienden a inmovilizarse en los suelos y a concentrarse en los organismos vivos. En general los compuestos organofosforados tienen una solubilidad acuosa mayor a los 25 ppm, en tanto que los compuestos organoclorados tienen una solubilidad menor a los 25 ppm. (**Pimentel & Edwards, 1982**).

Coefficiente de partición lípido / agua. El coeficiente de partición lípido/agua muestra que tanto de una sustancia se disuelve en agua y que tanto en lípidos; el coeficiente proporciona, de una manera indirecta, información sobre la solubilización y distribución en un organismo vivo. Por ejemplo, el aldrin y el DDT tienen un coeficiente de partición lípido/agua mayor a 6.2, siendo por lo tanto alto, lo que significa que son liposolubles, que se absorben fácilmente a través de las membranas biológicas acumulándose en el tejido graso. (**Pimentel & Edwards, op.cit.**). El método usa una sustancia lipofílica, n-octanol y agua, quedando como coeficiente de partición octanol-agua. El octanol es similar en cuanto a la polaridad e hidrofobicidad de los componentes principales de la membrana celular. Los compuestos que tienden a “partirse” hacia el octanol, tenderán a acumularse en la membrana celular. Y se calcula como:

$$Kow = Co/Cw$$

Dónde:

Co = concentración en el Octanol

Cw = concentración en el agua

Kwo = Coeficiente octanol - agua (adimensional)

Y la regla general establece que: $Kow < 10$ los compuestos son hidrofílicos; $Kwo > 10^4$ los compuestos son hidrofóbicos.

Presión de Vapor. La presión de vapor de una sustancia determina su volatilidad. Las sustancias con presión de vapor mayor a 10^{-3} mm de Hg, y a 25 °C son muy volátiles, por lo tanto tienen una gran movilidad y se dispersan hacia la atmósfera; existen sustancias ligeramente volátiles, menos móviles, con presiones entre 10^{-4} y 10^{-6} mm de Hg a 25 °C, y las no volátiles que son más persistentes en suelos y agua, con presión de vapor menor a los 10^{-7} mm de Hg. Por ejemplo, los herbicidas tienen una presión de vapor muy baja; las clorotriazinas, del grupo de las triazinas tienen presiones de vapor menores a los 10^{-7} , este grupo es de mayor persistencia y menor volatilidad que las metoxitriazinas con presiones de vapor igual o mayores a 10^{-7} . (Pimentel & Edwards, op.cit.).

Disociación y Ionización. Las sustancias al solubilizarse se pueden o no disociar. Las que se disocian son sustancias no iónicas, sin carga. Las que no se disocian son sustancias iónicas, las cuales pueden tener carga positiva (catiónicas) o bien carga negativa (aniónicas). Los agroquímicos aniónicos y no iónicos son móviles en los suelos en tanto los catiónicos son absorbidos, inmovilizándose en ellos. El

paraquat y el diquat son sustancias catiónicas que se adsorben fuertemente a las partículas de los suelos, en tanto que los fenoxiacéticos, sustancias aniónicas se movilizan fácilmente. (Pimentel & Edwards, op.cit.).

Degradabilidad. Es importante considerar también las propiedades químico - biológicas de la degradabilidad de los agroquímicos. Dichas propiedades se refieren a que la actividad de una sustancia puede ser permanente o bien puede disminuir con el tiempo en función de su descomposición, ya sea química (quimiodegradabilidad), por acción de la luz (fotodegradabilidad) o por acción de sistemas microbianos (biodegradabilidad). (Pimentel & Edwards, op.cit.).

Es también importante hacer énfasis en la capacidad de las sustancias a bioacumularse y a biomagnificarse en la cadena de alimentos. El factor de bioconcentración (partición biota - agua) es una medida que nos indica que tan alta es esta tendencia y se calcula como:

$$BCF = v/Ca$$

Dónde:

v = concentración en el organismo (pez, etc.)

Ca = concentración en el agua

BCF = factor de bioconcentración (adimensional)

La regla general establece que un BCF > 1.0 es potencialmente bioacumulativo y un BCF > 100 altamente bioacumulativo. En la tabla 1, están listados algunos ejemplos de agroquímicos de acuerdo a sus propiedades de permanencia en el ambiente y en la figura 1 se describe de manera simple el proceso de desaparición de los agroquímicos.

Tabla 1. Persistencia de algunos compuestos de acuerdo a la persistencia en el suelo.

Baja persistencia (vida media de 30 días)	Persistencia moderada (vida media de 30 a 100 días)	Alta persistencia (vida media mayor a 100 días)
Aldicarb	Aldrin	TCA
Captan	Atrazine	Picloram
Dalapon	Carbaryl	Bromacil
Dicamba	Carbofuran	Trifluralin
Malathion	Diazinon	Chlordane
Methyl Parathion	Endrin	Paraquat
Oxamyl	Fonofos	Lindano
2,4-D	Glyphosate	
2,4,5-T	Heptachlor	
	Linuron	

	Parathion	
	Phorate	
	Simazine	
	Terbacil	

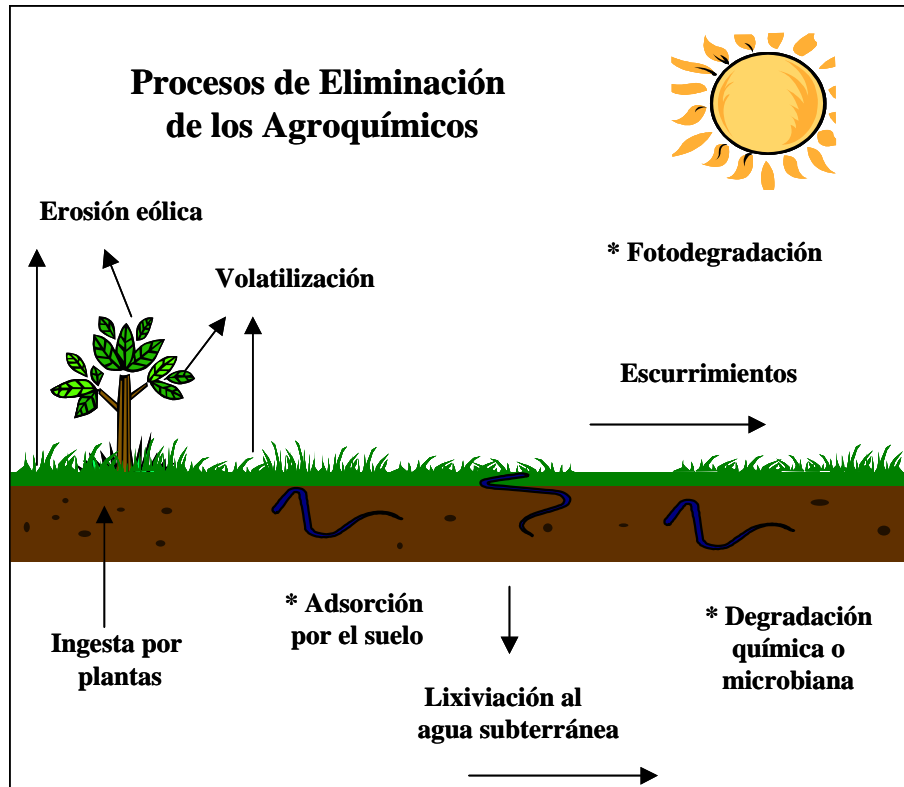


Figura 1. Vías generales de eliminación de los agroquímicos en el ecosistema.

5 Agroquímicos Organoclorados

Los agroquímicos organoclorados son agrupados en cinco clases: a) DDT y sustancias análogas; b) Hexaclorociclohexanos; c) Ciclodienos y compuestos similares; d) Toxafeno y químicos relacionados, y e) Mirex y Clordecano (Kepona). A continuación se describen los efectos y las rutas generales de algunos ejemplos de organoclorados.

DDT y sus metabolitos. El DDT (diclorodifeniltricloroetano) es el organoclorado mejor conocido y son muchos los casos documentados sobre sus efectos en la vida silvestre. Aunque su uso fue restringido en los Estados Unidos desde la década de los 70, el efecto del mismo aún persiste en las poblaciones de algunas especies, afectando la reproducción

como es el caso del águila calva, en la cual los pollos nacen deformes con los picos cruzados y las garras malformadas (**Rutherford, op.cit.**). A pesar de haber caído en desuso, los principales efectos consisten en toxicidad embrionaria, disminución de la tasa reproductiva en aves y problemas en el metabolismo del calcio en la formación de la cáscara del huevo en aves. Después de que el DDT es aplicado ocurre un rompimiento de la molécula, produciendo metabolitos como el DDE (1,1'-dicloroetenideno)bis[4-clorobenceno]), el cual se encuentra en el ambiente en mayor proporción que el DDT (**Beyer, 1980; Stickel, 1973**).

El DDE es el contaminante responsable de la fragilidad de la cáscara del huevo en aves y está reportada dicha condición para más de 18 familias de aves en Norteamérica y a través del mundo (**Hickey, 1968**). La fragilidad de la

cáscara del huevo es sólo un de los numerosos factores que están relacionados a los efectos adversos del DDE (Blus, 1982). Sin embargo, otras especies rapaces como el búho gigante Cornudo (*Bubo virginianus*) y la gran garza azul (*Ardea herodias*) mostraron efectos mínimos y no hubo una declinación de la población (Prestit, 1970). El pelicano café es una de las especies más sensibles a los efectos del DDE sobre la reproducción pues con tan sólo 3 µg/g en el huevo se asocia con una falla reproductiva casi total (Prestit, op.cit.).

Aldrin/Dieldrin. Estos dos organoclorados estrechamente emparentados son altamente tóxicos y han estado involucrados en numerosos incidentes de mortalidad de la vida silvestre. Cuando el aldrin es aplicado en el campo, se convierte rápidamente en dieldrin y por lo general es encontrado específicamente en los sitios de aplicación (Korschgen, 1970). El aldrin y el dieldrin fueron prohibidos en los Estados Unidos desde 1974 y su uso sólo es autorizado bajo condiciones excepcionales. En Europa y en los Estados Unidos las aplicaciones de estos agroquímicos desde los años 60 han provocado un sinnúmero de efectos negativos en animales, principalmente de los grupos de mamíferos y aves. Casos documentados en Gran Bretaña muestran efectos adversos en la reproducción del águila dorada, *Aquila chrysaetos*, bajo concentraciones residuales 1µg/g (Lockie, 1964). Algo semejante concluyó Ratcliffe (1988) acerca de la declinación dramática de las poblaciones del halcón peregrino, la cual fue relacionada con el efecto combinado de dieldrin, aldrin, y heptaclor. En el caso de los mamíferos, el dieldrin y quizá en menor grado el heptaclor, causaron la extinción de una colonia de murciélagos, *Myotis grisescens*, y mortalidad en una segunda colonia de Missouri (Clark, 1983).

Endrin. El endrín, junto con el aldrín y el dieldrin, forman parte de la familia de los agroquímicos clorinados más utilizados a escala mundial para el control de numerosos cultivos y plagas. Es un insecticida organoclorado de contacto y poca acción sistémica; altamente lipofílico y persistente, considerado como un excelente insecticida en el suelo y usado también como avicida y rodenticida. Es altamente persistente en el ambiente, con una vida media estimada en 14 años o más, dependiendo de las condiciones y características ambientales. El endrín es un isómero del dieldrin, el cual a su vez es un producto de la degradación metabólica del

aldrín; el endrín se transforma por fotodegradación en ketoendrín (Stickel, 1979). Es fuertemente adsorbido por el suelo y se ha detectado en muestras de agua subterránea, lo que indica que se lixivia en algunos suelos bajo ciertas condiciones. La adsorción del endrín por los sedimentos y el suelo, puede reducir la tasa de volatilización del agua y el suelo. Su uso comprende el control de todo tipo de plagas, por lo que se utiliza como insecticida principalmente, aunque también se emplea como rodenticida y avicida (Bedford, 1975). Los tres compuestos están asociados como causa de los defectos de nacimiento así como abortos espontáneos, además de causar cáncer en animales de laboratorio. En particular, el endrín está asociado a producir daños cerebrales y del sistema nervioso en diversos mamíferos estudiados, incluyendo al hombre (Blus, op.cit.). Asimismo, los compuestos producidos por la metabolización del endrín por mamíferos, son más tóxicos que el endrín mismo.

Los efectos en la avifauna son variados e incluyen el incremento en la fragilidad de los cascarones de los huevos y en el grosor de los mismos, asimismo la transmisión de los compuestos a través de los mismos incrementa su presencia en la cadena trófica, su presencia se ha detectado en poblaciones silvestres de patos, garzas y pelícanos, entre otras especies (McNease, 1984).

Por sus características de bioacumulación, se han detectado residuos de estos compuestos en peces, crustáceos, ovejas, cerdos, ganado vacuno y otros animales. Debido a lo anterior, han causado sensibles disminuciones en poblaciones de peces y contribuido a la desaparición de otras tantas. La toxicidad es de DL₅₀ Oral 3 mg./Kg. para ratas. El aldrín y el dieldrin son extremadamente tóxicos (DL₅₀ Oral de 39 y 46 mg/kg, respectivamente para ratas), mientras que el endrín es altamente tóxico DL₅₀ Oral 3 mg./Kg. para ratas. La persistencia es de 52 semanas. Sumado a su toxicidad directa, los compuestos de esta familia química, son extremadamente persistentes. Un estudio reportó que de 17 a 21 años después de ser aplicados estos compuestos en un nido de termitas (*Reticulitermes sp.*), los pesticidas aún estaban presentes y efectivos.

Clordano. Insecticida organoclorado de contacto e ingestión; altamente lipofílico. Al ser liberado en suelos persiste por largos períodos de tiempo. Se ha detectado que es factible su infiltración a

aguas subterráneas (Howard 1978). Pruebas de volatilidad en suelos, indican que el clordano puede volatilizarse de la superficie del suelo e incorporarse a la atmósfera. La presencia del compuesto en muestras de sedimentos, sugiere que el clordano puede ser muy persistente en estado de adsorción en medios acuáticos. En la atmósfera, el clordano reacciona en la fase de vapor con radicales hidroxilos producidos fotoquímicamente y se estima que la tasa de vida media de 6.2 horas, es el proceso químico dominante para su remoción. La detección de clordano en atmósferas remotas (ártico), indica que el transporte ocurre a grandes escalas, asimismo su detección en agua de lluvia indica su incorporación en muchos ambientes lejanos al de su aplicación. No existen datos suficientes para predecir la tasa de biodegradación, sin embargo, se sabe que su biotransformación es

muy lenta en el ambiente. La presencia del compuesto en las personas puede ocurrir a través de la ingestión de alimentos contaminados, por agua o por la inhalación de aire contaminado.

La alta persistencia de este compuesto y su movilidad en la cadena trófica está bien estudiada, encontrándose en peces estuarinos, de aguas interiores y de mar abierto; así como en los ostiones. En el medio terrestre, se han detectado concentraciones de medianas a altas en aves como el águila calva, halcones, búhos, garzas, gaviotas, así como en abejas. Respecto al humano, se ha encontrado clordano en tejido adiposo, placentario y en leche materna. Es moderadamente tóxico, y tiene una persistencia de 52 semanas. Las ratas presentan un DL_{50} en mg./Kg. como sigue:

	Oral	Dérmica	Inhalación
Sólido	50-500	100-1000	2-20 mg./l.
Líquido	200-2000	400-4000	en 1 hr.

6 Agroquímicos Organofosforados y Carbamatos

Los organofosforados y los carbamatos son agroquímicos de vida corta y son rápidamente metabolizados o excretados por la mayoría de los animales, además no se concentran en la cadena de alimentos (Eto, 1974; Kuhr, 1976; Stickel, op.cit. 1979). Los carbamatos y los organofosforados tienen un amplio espectro de toxicidad para los vertebrados acuáticos y terrestres, debido a que ellos actúan rápidamente interfiriendo las transmisiones nerviosas y sólo un corto tiempo de exposición es suficiente para matar o incapacitar a múltiples organismos. La vulnerabilidad específica varía de acuerdo a la asociación con el hábitat, preferencias de forrajeo o por la sensibilidad inherente a la sustancia. La exposición puede ser por contacto directo, ingestión de agua contaminada, suelo, vegetación, o por ingestión de presas contaminadas o gránulos impregnados de la sustancia. Algunos ejemplos de compuestos organofosforados y carbamatos son los siguientes.

Phorato. El phorato es altamente tóxico para los organismos acuáticos y terrestres. La toxicidad aguda es muy variable, por ejemplo, la

concentración letal media en 96 horas, 96-h CL_{50} s es de 2.0 $\mu\text{g/l}$ en la mojarra de agallas azules, *Lepomis macrochirus*, hasta 280 $\mu\text{g/l}$ en el bagre de canal, *Ictalurus punctatus*. Considerando que el phorato es poco soluble en agua y que en esencia no se acumula en los tejidos animales se concluye que posee poco peligro crónico para los peces (Lichtenstein, 1978).

El phorato se oxida de manera natural entre el primero y segundo día después de su aplicación y se convierte en un compuesto más tóxico y más estable, en sulfonas y sulfóxidos. La sulfona degradada presenta una toxicidad mayor al doble que el compuesto original (Wirth, 1958). Las aves y los mamíferos son altamente sensibles al phorato. En pruebas de laboratorio se expusieron individuos de 7 especies de aves encontrándose una dosis letal media, DL_{50} s, de 0.6 mg/kg de masa corporal para el pato de collar, *Anas platyrhynchos*, hasta 13 mg/kg para el ave, *Alectoris chukar*.

Ditiocarbamatos. En la clase de los ditiocarbamatos se encuentran los compuestos fungicidas y herbicidas. El metham es un pesticida de amplio espectro pero se usa principalmente como fungicida y herbicida. CDEC es un ditiocarbamato herbicida, mientras

que el thiram, ferbam, amobam, nabam, zineb, maneb, polyram, dithane-45, y ziram, son funguicidas (**Guenzi, 1974**).

La degradación microbiana del CDEC no ha sido reportada, aunque se han propuesto las rutas de degradación. Algunos reportes indican que los microorganismos del suelo están involucrados en la pérdida de la actividad del CDEC en los suelos. Las altas temperaturas y el contenido de humedad también estimulan la actividad microbiana y conducen a una rápida eliminación de su fitotoxicidad en el suelo. Además, en el suelo la hidrólisis y la oxidación pueden ocurrir de manera separada o concurrente.

El metham, se descompone químicamente en el suelo hacia metil isotiocianato, el cual es el tóxico primario, las reacciones químicas del metham y los productos de su descomposición han sido observadas en diversas condiciones de suelo. El metham se descompone hacia metil isotiocianato y sulfuro elemental bajo condiciones alcalinas. Bajo condiciones ácidas se forman el disulfuro de carbono, sulfuro de hidrógeno, metil amina, metil isotiocianato y disulfuro de N,N-dimetiltiuram. Varios de estos productos interactúan unos con otros para formar productos adicionales con propiedades tóxicas. Investigaciones químicas recientes sugieren que los fungicidas ditiocarbamatos se degradan en compuestos orgánicos que incluyen etilendiamina, etilentiourea e isotiocianatos, entre otros.

Los fungicidas nabam, maneb, zineb, polyram y el ditano M-45, se han estudiado recientemente dado que son conocidos por degradarse en etilentiourea (ETU), un carcinógeno conocido, la aparición de bajos niveles de ETU en ciertos alimentos ha provocado una gran actividad de investigación dirigida a la evaluación del destino ambiental y el comportamiento de estos fungicidas y los productos de su degradación. Los residuos de ETU se han detectado en manzanas, follaje de tomates, papas, lechuga y col. Las investigaciones sobre la degradación del ETU, coinciden en que este se degrada rápidamente bajo la mayoría de las condiciones ambientales. Las investigaciones demuestran que en la mayoría de los suelos el ETU se degrada formando etilenurea el cual se degrada subsecuentemente en otros productos incluyendo CO₂. La degradación puede ocurrir por mecanismos fotolíticos, químicos o biológicos.

Estudios sobre bioacumulación en diversos organismos indican que ETU presenta efectos carcinogénicos sobre hígado y glándula tiroidea, bocio, así como propiedades mutagénicas y teratogénicas. Asimismo, se han observado efectos sobre comportamiento reproductivo y defectos de nacimiento en animales de laboratorio, al usar altas dosis de estos compuestos. Los ditiocarbamatos afectan a las plantas en las células, al intervenir en la asimilación de algunos elementos esenciales e interrumpir la síntesis y metabolismo de proteínas, por lo que resultan muy afectadas.

Dicamba (2-Metoxi-3,6-Ácido diclorobenzoico). Herbicida derivado del ácido benzóico, de contacto y con actividad en plantas dicotiledóneas, su utilización se enfatizó en el control de las malas hierbas de hoja ancha, aunque puede ser aplicado tanto en la superficie foliar como directamente en el suelo a fin de inhibir la germinación de semillas, por lo que presenta propiedades de control tanto en plantas anuales como perennes. En suelo y agua, el principal proceso de degradación es el microbiano, bajo ciertas condiciones ambientales y con participación de fotólisis. Este compuesto presenta mucha movilidad en suelos, por lo que es factible su lixiviación hacia aguas subterráneas. La volatilización de la superficie del suelo no se considera tan importante como la que se efectúa en la superficie foliar al momento de la aplicación del producto (**Suter, 1993**).

La persistencia de dicamba en suelos puede durar entre 4 días y 2 años, de acuerdo a las condiciones ambientales; sin embargo, se considera que su vida media típica es de dos a cuatro semanas. El principal medio de ingestión en el hombre es a través de agua contaminada. En experimentos realizados sobre animales, se reportan daños y lesiones por efectos de este compuesto mediante varias vías de exposición, como son por vía oral, contacto dérmico e inhalación, siendo los daños de acuerdo a la especie y al tiempo de exposición. Asimismo, se reporta que para aves y peces es ligeramente tóxico, no así para diversos mamíferos.

Carbofuran. El carbofuran es altamente tóxico para los peces y considerablemente menos tóxico para otras formas de vida como gusanos tubícolas y crustáceos marinos. En pruebas de toxicidad aguda sobre la base de 96-h se probó la sensibilidad de los alevines de 7 especies de peces de agua dulce resultando con una

concentración letal media, LC_{50} s, que varió de 147 $\mu\text{g/l}$ la perca amarilla, *Perca flavescens*, hasta 872 $\mu\text{g/l}$ para el charal, *Pimephales promelas*, (Johnson et al., 1980). El carbofuran no se acumula en los ecosistemas acuáticos y representa poco peligro para los organismos, sin embargo, es lo suficientemente tóxico para considerar tomar las debidas precauciones en su aplicación.

Atrazina. También llamado “gesaprim”, es un herbicida sistémico pre y post-emergente (puede actuar sobre monocotiledóneas y dicotiledóneas ya que actúa inhibiendo la reacción de Hill en el transporte de electrones). Posee baja solubilidad en solución acuosa, por lo tanto, poco puede penetrar a la parte profunda del suelo, por esto difícilmente ataca a plantas o cultivos con raíz profunda (árboles). La atrazina puede ser introducida al ambiente, vía efluentes de los sitios de manufactura o por los puntos de aplicación en sitios donde se usa como herbicida. El aro químico de la Atrazina es resistente a la degradación, pero es factible de ser modificada en otros productos mediante transformación microbiana (Howard, op.cit.).

La degradación química puede ser más importante ambientalmente que la biodegradación. Además, puede hidrolizarse medianamente rápido en ambientes ácidos o básicos, siendo resistente a la hidrólisis en ambientes neutros. Análisis de campo demostraron que tras un período inicial de reducción de la atrazina, su transformación se detiene y mantiene estable su tasa de reducción en suelo. Es importante señalar que la persistencia de atrazina en suelos, se ve disminuida drásticamente en presencia de ácido húmico y de ácido fúlvico y mientras más ácido sea el suelo, la persistencia de la atrazina disminuye (Suter, op.cit.).

En cuanto a efectos adicionales, se sospecha que tiene efectos mutagénicos, aunque no está completamente comprobado. Cuando la atrazina penetra al organismo, se acumula en hígado, riñón y pulmón, donde se modifica en otros metabolitos y se excreta posteriormente vía orina y heces. En peces, se reporta bioacumulación en cerebro, agallas, hígado e intestinos, en concentraciones hasta 11 veces la concentración presente en el agua circundante (Howard, op.cit.).

La sintomatología de la vegetación afectada se da cuando el herbicida es captado por la raíz y la planta se torna amarillenta (clorótica) y muere. La toxicidad: Ligeramente tóxico; DL_{50} oral 9,000 mg./Kg. en ratón; 1,000 mg/Kg. en hámster y $> 2,000$ en patos. La persistencia es de 27 a 52 semanas

7 Evaluación de los agroquímicos y sus metabolitos producto de la transformación

Una característica observada en los análisis de ocurrencia en el agua de los distintos agroquímicos para los países europeos, es que frecuentemente, se han encontrado varios metabolitos como productos de la transformación de los compuestos originales. Uno de los más comunes es el metabolito de la triazina, sobre todo porque es posible detectarlo bajo los mismos protocolos de análisis del compuesto original. En general la toxicidad para el hombre y las propiedades ambientales de los metabolitos no están bien conocidas pero varios productos derivados de la transformación presentan características de mayor persistencia, lixiviación y toxicidad que los originales. Compuestos como linuron, metolachlor y terbuthylazina, fueron encontrados únicamente en la superficie del agua, en Italia, Sin embargo, en una zona contaminada con atrazina se encontraron metolachlor y terbuthylazina, a 40 metros de profundidad en el agua subterránea. El linuron se degrada en 3, 4 dicloroanilina, un metabolito mutagénico que es ocasionalmente encontrado en las aguas superficiales (Maier,1981).

La atrazina es indudablemente el herbicida de mayor difusión y el que más se ha detectado en las aguas superficiales. Por ésta razón se reguló su uso en varios países europeos y en algunos lugares, como Lombardía, Italia, fue prohibido su uso desde 1986 (Galassi, 1990). En este sitio se seleccionaron zonas para ser investigadas por varios años y se encontró que la atrazina tiene cierta persistencia en el agua debido a que la actividad microbiana es imperceptible y los datos no concordaron con lo reportado para la persistencia del compuesto en el ambiente, que es de dos meses en promedio. De los metabolitos de la atrazina, particularmente el DEA, parece ser que posee mayor persistencia que el compuesto original (Thurman, 1994). Otro producto de la dekilación de la atrazina es el DIP (2-cloro-4, 6-diamino-s-triazina) el cual se ha encontrado en concentraciones comparables con las del DEA, sin embargo estos metabolitos

pueden formar por si mismos otros compuestos terciarios.

El alachlor encabeza la lista de los herbicidas en Italia después de que la atrazina fue regulada en su uso. Su dinámica muestra poca movilidad y poca persistencia, por lo tanto es menos lixiviable que la atrazina. El metabolito del alachlor, 2, 6-diethylanilina presenta una toxicidad aguda más baja que el mismo alachlor. Los reportes indican que la concentración de 2, 6-diethylanilina a 96-h CL₅₀s en la trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss*, fue de 21 mg/l comparada con 1.8 mg/l reportada para alachlor (Chesters, 1989).

Un herbicida que es usado en cantidades bastante menores es el bentazone, este es aplicado en campos de arroz en el norte de Italia y en España, donde en 1987 se evaluaron 131 pozos encontrando en 90 de ellos concentraciones mayores a 0.1 mg/l y hasta 37 mg/l, contradiciendo lo reportado por Huber y Otto (1994) en una revisión reciente donde establecen que el bentazone es retenido por las raíces de las plantas, por material orgánico y que es foto degradado y biodegradado rápidamente (Gelosa, 1988). El bentazone produce dos metabolitos, el 6-hidrobentazone y el 8-hidrobentazone, los cuales se supone que de acuerdo a Huber y Otto

no deben estar presentes en el ambiente pero han sido detectados en el delta del río Ebro en España.

Para minimizar el impacto de la contaminación química en las poblaciones silvestres o sobre toda la biota, se han promulgado estándares sobre seguridad ambiental. El estándar de seguridad ambiental más conocido para una sustancia potencialmente peligrosa es el llamado "concentración tóxica máxima aceptable" o MATC, por sus siglas en inglés. El MATC, es una medida de la dosis letal de una sustancia en una prueba de especies simples con un vasto arreglo de organismos. Se calcula un estimado de la concentración en la que se protegerá al 95 % de las taxa que ocurren en un lugar determinado, por lo tanto, sólo el 5 % es afectado. El MATC es la media geométrica de la concentración de los efectos no observados (NOEC) o la concentración más baja de efectos observados (LOEC) en exposiciones crónicas. Una metodología semejante fue creada por Van Leeuwen (1990). En Holanda, la evaluación del riesgo a los ecosistemas por sustancias tóxicas recae en el método HCp de Van Straalen y Denneman (1989), donde HCp es la concentración de peligro para un porcentaje *p* de especies expuestas.

$$HCp = \frac{eXm}{T}$$

Donde, Xm es la media muestral del log NOEC para las especies de la prueba m, Sm es la desviación estándar para los valores del log NOEC de las especies de la prueba m, d1 es la fracción del ecosistema que no está protegida (el valor recomendado de d1 es = 0.05), d2 es la probabilidad de sobrestimar el valor de HCp (valor recomendado 0.05), dm es el valor tal que la probabilidad de que Sm > dm = d2 y T es el factor de aplicación entre HCp y eXm.

$$T = \exp \left[\frac{3d_m S_m}{\pi^2 \log \frac{(1-\delta_1)}{\delta_2}} \right]$$

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La dinámica que siguen en el ambiente biótico y no biótico las sustancias químicas de aplicación agrícola, es sumamente compleja y ha sido tratada o estudiada por diferentes campos del conocimiento, desde las disciplinas agronómicas

por excelencia, hasta las disciplinas del área médica, pasando por las áreas de la biología y la misma química, e incluyendo los aspectos éticos y legales.

La evaluación de los efectos de los agroquímicos en los seres humanos y en el ecosistema requiere

de la definición de la(s) relación (es) causa-efecto que pueden establecerse entre el elemento considerado contaminante y los componentes del ecosistema. Actualmente, se diferencian tres distintos niveles de afectación; el agua subterránea-agua superficial, los suelos y la salud del ecosistema (o sus integrantes) presumiblemente afectado.

Existe una gran cantidad de información específica y puntual que debe ser integrada para obtener una visualización panorámica del “ciclo de vida” de las sustancias agrícolas. Porque hasta ahora, aún y cuando se conocen los procesos generales existe una gran cantidad de información detallada que está dispersa. Por lo tanto, todavía hay una buena cantidad de “rutas” que no han sido determinadas.

Por otra parte, la respuesta de los organismos en cualquier nivel de la organización del espectro biológico a la presencia de sustancias tóxicas (agroquímicos), es altamente significativa para evaluar y monitorear sus efectos negativos en los distintos elementos del ecosistema. Cuando se trata de determinar la presencia o ausencia de una especie o el éxito de sus procesos fisiológicos es de mayor utilidad el uso de biomarcadores para detectar al agente que provoca la alteración.

Es evidente que la complejidad estructural y funcional de los ecosistemas requiere de más investigación para identificar a las especies clave y mejorar el conocimiento de los bioindicadores como una herramienta que permita identificar el efecto de las sustancias químicas sobre las comunidades.

Otra necesidad prioritaria son los estudios adicionales que permitan establecer una mayor precisión sobre el efecto tóxico de las sustancias químicas sobre todo en los procesos ecológicos fundamentales como la productividad primaria y la secundaria de los niveles de los descomponedores y sobre los ciclos biogeoquímicos y de nutrientes.

REFERENCIAS

Alba –Tercedor, J. 1996. Macro Invertebrados Acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV simposio del agua en Andalucía (SIAGA), Almería. Vol. II: 230-213.

- Armitage, P. D. & G. E. Petts, 1992. Biotic score and prediction to assess the effects of water abstractions on river macro invertebrates for conservation purposes. *Aquatic Conserv. Marine and Fresh. Ecosyst.* 2:1-17.
- Aulerich, R. J., Ringer, R. K., Iwamoto, S. 1973. Reproductive failure and mortality in mink fed on Great Lakes fish. *Journal of reproduction and fertility (Supplement)* 19: 365-376.
- Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Snyder & J. B. Stribling, 1995. Revision to Rapid Bioassessment Protocols for use in stream and rivers: Periphyton, benthic macro invertebrates and fish EPA 841_D_97-002.
- Bedford, C. T., Huston, D. H. and Natoff, I. L. 1975. The acute toxicity of endrin and its metabolites to rats, *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 33 115.
- Beyer, W. N. and Gish, C. D., 1980. Persistence in earthworms and potential hazards to birds of soil applied DDT, dieldrin and heptachlor, *J. Appl. Ecol.* 17, 295.
- Bishop, C. A., Brooks, C. N., Carey, J. H., Ng, P., Nostrom, R. J., Lean, D. R. S. 1991. The case for cause-effect linkage between environmental contamination and development in eggs of the common snapping turtle *Chelydra serpentina serpentina* from Ontario. *Canadian Journal of Toxicology and Environmental Health.*
- Bittermann, Wolfgang & Helmut Haberl. 1998. Landscape-relevant indicators for pressures on the environment *Innovation; Abingdon; Volume: 11: 87-106.*
- Blus, L. J. 1982. Further interpretation of the relation of organochlorine residues in Brown pelican eggs to reproductive success. *Environ. Pollut.*, A28, 15.
- Bongers, T. 1990. The Maturity Index: An ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83:1419.
- Brillouin, L, 1951. Maxwells demon cannot operate: Information and entropy. I and II. *J. Appl. Phys.* 22: 334-343.
- Chesters, G., G. V. Simsman, J. Levy, J. A. Bashar, R. N. Fathulla and J. M. Harkin, 1989. Environmental fate of alachlor and metolachlor. *Rev. Environ. Cont. Toxicol.*, 110, 1-74.

- Clark, D. R., Jr., Bunk, C. M. and Cromartie, E., 1983. Year and age effects on residues of dieldrin and heptachlor in dead gray bats, Franklin County, Missouri-1976, 1977 and 1978, *Environ. Toxicol. Chem.* 2, 387.
- Colborn, T. 1991. Epidemiology of Great Lakes Bald eagles. *Journal of toxicology and Environmental Health* 33, 395-454.
- Costanza, R. 1992. Toward an operational definition of ecosystem health. *Ecosystem Health: New goals for environmental management.* (Eds. R. Costanza, B. G Norton and B. D. Haskell) pp. 239 – 256 Island Press. Washington.
- Crawford, S.A. 1981. Successional events (of aquatic vegetation in a farm pond) following simazine application. *Hydrobiologia* 77: 217223.
- deNoyelles, R., W.D. Kettle, and D.E. Sinn. 1982. The responses of plankton communities in experimental ponds to atrazine, the most heavily used pesticide in the United States. *Ecology* 63:12851293.
- Dewey, S.L. 1986. Effects of the herbicide atrazine on aquatic insect community structure and emergence. *Ecology* 67:148162.
- Dodge, D., Kavetsky, R. 1995. Aquatic Habitat and Wetlands of the Great Lakes. 1994 state of the Lakes Ecosystem Conference (SOLEC) Background Paper. Environment Canada and United States Environmental Protection Agency EPA 905-R-95-014.
- Eto, M., 1974. Organophosphorus pesticides: Organic and biologic chemistry, CRC Press, Cleveland, OH.
- Gabor, T.S., T. Haagsma, H.R. Murkin, and E. Armson. 1993. Effects of triclopyr amine herbicide on purple loosestrife and non-target wetland plants. Abstract in Prairie ecosystems: Wetland ecology, management, and restoration. Northern Prairie Science Center, Jamestown, ND.
- Galassi, S. and L. Guzzella, 1990. *Acqua Aria*, 3, 231-240.
- Gelosa L., and G. Leoni, 1988. *Inquinamento*, 6, 60-61.
- Giesy, J. P. et al. 1994. Contamination in fishes from Great Lake influenced sections and above dams of three Michigan rivers. II. Implication for the health of mink. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 27, 213-223.
- Goldsborough, L.G., and G.G.C. Robinson. 1983. The effect of two triazine herbicides on the productivity of freshwater marsh periphyton. *Aquatic Toxicology* 4:95-112.
- Guenzi W.D. and Beard W.E. 1974. Volatilisation of pesticides. In: Guenzi, W.D. (Ed) *Pesticides in soil and water.* Chapter 6, 107-122. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Gurney, S.E., and G.G.C. Robinson. 1989. The influence of two triazine herbicides on the productivity, biomass, and community composition of freshwater marsh periphyton. *Aquatic Botany* 36:1-22.
- Hamilton, P.B., G.S. Jackson, N.K. Kaushik, and K.R. Solomon. 1987. The impact of atrazine on lake periphyton communities, including carbon uptake dynamics using track autoradiography. *Environmental Pollution* 46:83103.
- Hansen, A. R. and Fouts, J. R., 1972. Some problems in Michaelis-Menten kinetic analysis of benzopyrene hydroxylase in hepatic microsomes from polycyclic hydrocarbon-pretreated animals, *Chem-Biol. Interact.*, 1, 167.
- Herman, D., N.K. Kaushik, and K.R. Solomon. 1986. Impact of atrazine on periphyton in freshwater enclosures and some ecological consequences. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 43:19171925.
- Hickey, J. J. and Anderson, D. W. 1968. Chlorinated hydrocarbons and eggshell changes in raptorial and fish-eating birds, *Science*, 162, 271.
- Hill, E. F. and Fleming W. J. 1982. Anticholinesterase poisoning of birds: Field monitoring and diagnosis of acute poisoning, *Environ. Toxicol. Chem.*, 1, 27.
- Hoffman, D. J., Smith, G. J. Rattner, B. A. 1993. Biomarkers of contaminant exposure in common terns and black-crowned night herons in the Great Lakes. *Environmental Toxicology and Chemistry* 12, 1095-1103.
- Howard, P. H. et al. 1978. Determining the fate of Chemicals. *Environmental Science & Technology* vol. 12 No. 4 pp. 398-407. U.S.A.

- Huber R. and S. Otto, 1994. Rev. Environ. Contam. Toxicol., 137, 111-134.
- Johnson, M. K. 1975. Organophosphorus esters causing delayed neurotoxic effects-mechanism of action and structure activity studies. Arch. Toxicol. 34: 259-288.
- Johnson, W. W., and Finley, M. T., 1980. Handbook of toxicity of pesticides to Wildlife, Resource Publ. 137, U. S. Fish and Wildlife Service, Washington, D. C.
- Johnson, B.T. 1986. Potential impact of selected agricultural chemical contaminants on a northern prairie wetland: A microcosm evaluation. Environmental Toxicology and Chemistry 5:473485.
- Jurgensen, T.A., and K.D. Hoagland. 1990. Effects of short-term pulses of atrazine on attached algal communities in a small stream. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 19(4): 617-623.
- Karr, J. R. 1991. Biotic integrity: a long-neglected aspect of water resource management. Ecological Applications. 1: 66-84.
- Karr, James R. 1998. Defining and measuring river health. Freshwater Biology.
- Kolkwitz, R & W. A. Marsson, 1902. Grundsätze für die biologische Beurteilung des wassers nach seinerflora und fauna. Mitt. Prüfungsants. Wasserversog. Abwasser ein. 1: 33-72
- Kolkwitz, R & W. A. Marsson, 1908. Ecology of plant saprobia. Ver. Dt. Ges. 26:505-519.
- Kolkwitz, R & W. A. Marsson, 1909. Ökologie der tierischen Saprobien. Beiträge Zür Lehre von der biologische Gewässerbeuteilung. Internationale Reveu der gesamten Hydrobiologie 2: 126-152.
- Korschgen, L. J., 1970. Soil-food-chain-pesticide wildlife relationships in aldrin-treated fields, J. Wildl. Manag. 34, 186.
- Kubiak, T. J., Harris, H. J., Smith, L. M., Schwartz, T. R. Stalling, J. A., Trick, J. A., Sileo, L., Docherty, D. E., Erdman, T. C. 1989. Microcontaminants and reproductive impairment of the Forster's tern on Green Bay, Lake Michigan. 1983. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 18, 706-727.
- Kuhr, R. J. And Dorough, H. W. 1976. Carbamate insecticides: Chemistry, Biochemistry and Toxicology, CRC Press, Cleveland, OH,
- Lockie, J. D. And Ratcliffe, D. A. 1964. Insecticides and Scottish golden eagles. Br. Birds, 57, 89.
- Lichtenstein, E. P., Liang, T. T., and Fuhrman, T. W. 1978. A compartmentalized microcosm for studying the fate of chemicals in the environment, J. Agric. Food Chem., 26.
- Ludke, J. L., E. F. Hill, and M. P. Dieter. 1975. Cholinesterase (ChE) response and related mortality among birds fed ChE inhibitors. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 3:121.
- Macek, K. J., K. S. Buxton, S. Sauter, S. Gnilka, and J. W. Dean. 1976. Chronic toxicity of atrazine to selected aquatic invertebrates and fishes. EPA 600/3-76-047. U. S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Duluth, MN.
- Maier-Bode, H. and K. Hartel, 1981. Linuron and monolinuron. Residue Rev, 77, 364 pp.
- Margalef, R., 1951. Diversidad de especies en las comunidades naturales. Inst. Biol. Appl. 9: 15-27.
- Margalef, R., 1956. Información y diversidad específica en las comunidades de organismos. Investigación pesq. 3:99-106.
- Margalef, R., 1958. Information theory in ecology. Gen. Syste. 3: 36-71.
- McCarthy, W. F., and M. G. Henry. 1993. Direct and indirect impacts of esfenvalerate on wetland biota. Abstract in Prairie ecosystems: Wetland ecology, management, and restoration. Northern Prairie Science Center. Jamestown, ND.
- McNease, L., Joaenen, T., Richard, D., Shepard J., and Nesbitt, S. A.1984. The Brown pelican restocking program in Louisiana, Proc. Ann. Conf. Southeast. Assoc. Fish Eidl. Agencies, 38,165.
- Muir, D.C.G., B.E. Townsend, and W.L. Lockhart. 1983. Bioavailability of six organic chemicals to Chironomus tentans larvae in sediment and water. Environmental Toxicology and Chemistry 2:269281.
- Munné, A., Solá, C. & N. Prat, 1998. QBR: Un índice rápido para la evaluación de la

- calidad de los ecosistemas de ribera. Tecnología del agua. 175: 20-37.
- Patrick, R., 1949. A proposed biological measure of stream conditions, based on survey of the Conestoga basin, Lancaster County, Pennsylvania Proc. Acad. Nat. Scvi. Philad. 101: 277-341.
- Patrick, R., 1950. Biological measure of stream conditions. Sewage ind. Wastes. 22: 926-939.
- Pimentel, D. And Edwards, C. A., 1982. Pesticides and ecosystems. Bioscience, Vol. 32, pp. 595-600.
- Prat, N., I. Muñoz., G. González., & X. Millet, 1986. Comparación crítica de dos índices de calidad de aguas: ISQUA y BILL. Tecnología del agua. 31: 33-49.
- Prestt, I., 1970. The Heron *Ardea cinerea* and pollution, Ibis 112, 147.
- Ratcliffe, D. A. 1988. The peregrine falcon population of Great Britain and Ireland 1969-1985, in peregrine falcon populations: Their management and recovery. Cade, T. J. Anderson, J. H. Thelander, C. G., and White, C. M., Eds. The Peregrine Fund, Boise, ID, 351.
- Rutherford, Barbara. 1996. Toxic Chemicals and the Ramsar Convention. 6th. Meeting of the Conference of the Contracting Parties. Brisbane, Australia.
- Shaw, P. 1992. Effects of glyphosate (Roundup formulation) on phytoplankton in prairie ponds. Inland Waters Directorate, Environment Canada, Regina, SK, Canada.
- Sheehan, P.J., A. Baril, P. Mineau, D.K. Smith, A. Harfenist, and W.K. Marshall. 1987. The impact of pesticides on the ecology of prairie nesting ducks. Tech. Rep. Ser. No. 19. Canadian Wildlife Service, Environment Canada, Ottawa, ON, Canada.
- Shannon, C. E. & W. Weinner, 1949. The mathematical theory of communication. Pp. 19-27, 82-103, 104-107. The University of Illinois Press, Urbana IL.
- Sheldon, A. L. 1969. Equitability Indices: dependence on the species count. Ecology 50: 466-467.
- Stickel, L. F., 1973. Pesticide residues in birds and mammals, In Environmental Pollution by Pesticides, Edwards, C. A. Ed. Plenum Press. London, 254.
- Stickel, W. H., Kaiser, T. E. and Reichel, W. L. 1979. Endrin versus 12-ketoendrin in birds and rodents, In Avian and Mammalian Wildlifge Toxicology, Kenaga, e. e., Ed., Spec. Tech. Publ. 693, American Dsociety for Testing and Materials, Philadelphia, 61.
- Suter, G. W. 1993. Ecological Risk Assesment. Lewis Publishers Inc. U.S.A.
- Thurman, E. M., M. T. Meyer, M. S. Mills, L. R. Zimmerman and C. A. Perry, 1994. Environ. Sci. Technol., 28, 2267-2277.
- Towsend, C. R. & M. R. Scarsbrook, 1997. Quantifying disturbance in streams: alternative measures of disturbance in relation to macro invertebrate species traits and species richness. Am. Benthol. Soc. 16(3): 531-544.
- Van Leeuwen. 1990. Ecotoxicological effects assessment in the Netherlands: recent developments. Environ. Manag. 14(6), 779-792.
- Van Straalen, N.M., and Denneman, C.A.J., 1989. Ecotoxicological evaluation of soil quality criteria. Ecotoxicol. Environ. Safety 18, 241-251.
- Wayland, M., and D. A. Boag. 1990. Toxicity of carbofuran to selected macroinvertebrates in prairie ponds. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 45:7481.
- Wayland, M., and D.A. Boag. 1995. Fate of carbofuran and its effects on aquatic macroinvertebrates in Canadian prairie parkland ponds. Ecotoxicology 4: 169-189.
- Wirth, W., 1958. On the action of systemic phosphoric acid ester insecticides on the metabolism on warm blooded animals, Arch. Exper. Pathol. Pharmacol. 234, 252.
- Wobeser, G., and W. Kost. 1992. Starvation, staphylococcosis, and vitamin A deficiency among mallards overwintering in Saskatchewan. Journal of Wildlife Diseases 28:215222.
- Wright, F. F. 1995. Development and use of a system for predicting the macro invertebrate fauna and flowing waters. Australian Journal of Ecology. 20: 181-197.
- Zullini, A., and E. Peretti. 1986. Lead pollution and moss-inhabiting nematodes of an industrial area. Water, Air and Soil Pollution 27:403410.

Superioridad De La Regresión General Ridge Sobre Mínimos Cuadrados

Ing. Manuel R. Piña Monarrez¹, Dr. Manuel A. Rodríguez Medina² y Dr. Juan J. Diaz Núñez³

RESUMEN

El estimador de Mínimos Cuadrados (MC), es un caso especial del estimador general ridge propuesto por Hoerl y Kennard en 1970, para ajustar un modelo de regresión polinomial. En este artículo, se demuestra que la Regresión General Ridge (RGR), es mejor que el estimador de MC, para ajustar el polinomio, bajo el criterio del Cuadrado Medio del Error (CME), cuando el problema de multicolinealidad está presente. La prueba de este resultado, es dada aquí.

ABSTRACT

The ordinary least square estimator (OLS), is a special case of the general ridge estimator proposed by Hoerl and Kennard in 1970, for adjust a polynomial like a regression model. In this paper we demonstrate that the General Ridge Regression (GRR), is better than the OLS estimator, for adjust the polynomial, by the criterion of mean square error (MSE), when the multicollinearity problem is present. The proof of this result is given here.

Palabras Claves: Cuadrado Medio del Error, Regresión Ridge, Mínimos Cuadrados, Multicolinealidad.

INTRODUCCIÓN

En la literatura de regresión lineal múltiple, hay sugeridos varios estimadores para ajustar un polinomio a los datos de un experimento. Algunos de estos estimadores, por nombrar algunos, son Mínimos Cuadrados (MC), Mejor Estimador Lineal Insesgado (BLUE por sus siglas en inglés), Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG) y Regresión General Ridge (RGR) (Creel, 2002). De hecho, en el diseño experimental, generalmente, empleamos MC, para ajustar un polinomio completo de segundo orden para representar la superficie de respuesta que queremos optimizar (Montgomery, 1991). Cuando el problema de multicolinealidad está presente en la regresión múltiple, el estimador RGR, mejora la estimación de la precisión de los coeficientes ajustados del polinomio, sobre los coeficientes estimados por MC, en el sentido de que el estimador RGR, obtiene un CME menor que el CME de MC (Box and Draper, 1987). La organización del artículo, es como sigue. En la sección 2, presentamos la prueba de la superioridad del estimador RGR sobre MC, bajo el criterio del CME, cuando el problema de multicolinealidad está presente. En la sección 3, algunas conclusiones son dadas.

SUPERIORIDAD DEL ESTIMADOR RGR SOBRE MC BAJO EL CRITERIO DEL CME

Considere el modelo de regresión lineal múltiple

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (1)$$

donde

¹ Estudiante del Doctorado en ingeniería Industrial. Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. romanpin1970@yahoo.com.mx

² Programa de Doctorado en Ingeniería Industrial. Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. Manuel_Rodriguez_itcj@yahoo.com

³ Coordinador del Programa de Doctorado en Ingeniería Industrial. Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. jdiaz@uacj.mx

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & \mathbf{X}_{11} & \mathbf{X}_{12} & \dots & \mathbf{X}_{1p} \\ 1 & \mathbf{X}_{21} & \mathbf{X}_{22} & \dots & \mathbf{X}_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & \mathbf{X}_{n1} & \mathbf{X}_{n1} & \dots & \mathbf{X}_{np} \end{bmatrix}, \boldsymbol{\beta}^t = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix}, \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

y $(\mathbf{X}'\mathbf{X})$ es la matriz de correlación de las variables predictoras. En orden para definir el estimador ridge generalizado, transformamos primero el modelo (1) a su forma canónica como sigue:

Sea \mathbf{M} una matriz ortogonal de transformación tal que

$$\mathbf{M}'(\mathbf{X}'\mathbf{X})\mathbf{M} = \Delta \quad (2)$$

donde $\Delta = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_p)$. Sea $\widehat{\mathbf{X}} = \mathbf{X}\mathbf{M}$, el i-seavo eje transformado y sea $\boldsymbol{\theta} = \mathbf{M}\boldsymbol{\beta}$, el verdadero vector de regresión insesgado tal que $\theta_i = \mathbf{m}_i\boldsymbol{\beta}_i$ es el verdadero valor del i-seavo componente del vector de regresión y $\boldsymbol{\theta}'\boldsymbol{\theta} = \boldsymbol{\beta}'\boldsymbol{\beta}$.

Lema 1:

$$\boldsymbol{\theta} = \mathbf{M}\mathbf{c} = \mathbf{M}\Delta^{-1/2}\mathbf{H}'\mathbf{Y} \quad (3)$$

Es el verdadero vector de componentes de regresión incorrelacionados

Prueba:

Denotemos la descomposición del valor singular de \mathbf{X} por

$$\mathbf{X} = \mathbf{H}\Delta^{1/2}\mathbf{M}' = \sum_{i=1}^p \lambda_i^{1/2} \mathbf{h}_i \mathbf{m}_i' \quad (4)$$

Donde \mathbf{H} es una matriz ortogonal tal que $\mathbf{1}'\mathbf{H} = \mathbf{0}'$, y $\lambda_1^{1/2}, \dots, \lambda_p^{1/2}$ son los valores singulares de Δ los cuales dan la desviación (proporcional a la desviación estándar) (Obenchain, 1975), y \mathbf{M} es la matriz ortogonal definida en (2). Sea $\widehat{\mathbf{b}} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{Y}$ el estimador de MC, entonces, este puede ser escrito a través de la descomposición del valor singular por

$$\mathbf{E}(\widehat{\mathbf{b}}) = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{Y} = \mathbf{M}\Delta^{-1/2}\mathbf{H}'\mathbf{Y} = \mathbf{M}\mathbf{c} = \boldsymbol{\theta} \quad (5)$$

donde \mathbf{c} es un vector de componentes incorrelacionados. Note que desde que la desviación de $\widehat{\mathbf{b}}$ es

$$\mathbf{D}(\widehat{\mathbf{b}}) = \sigma^2(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} = \sigma^2\mathbf{M}\Delta^{-1}\mathbf{M}' \quad (6)$$

implica que $\mathbf{D}(\mathbf{c}) = \mathbf{D}(\mathbf{M}'\widehat{\mathbf{b}}) = \sigma^2\Delta^{-1}$, lo cual completa la prueba.

El estimador RGR es definido por:

$$\widehat{\mathbf{b}} = [\Delta + \mathbf{K}]^{-1} \widehat{\mathbf{X}}'\mathbf{Y} \quad (7)$$

donde

$$\Delta = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_p \end{bmatrix}, \mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & k_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & k_p \end{bmatrix} \text{ para } k_i \geq 0.$$

Si $\mathbf{Z} = (\mathbf{I} + \Delta^{-1}\mathbf{K})^{-1}$, entonces $\widehat{\mathbf{b}} = \mathbf{Z}\widehat{\mathbf{b}}$, donde $\widehat{\mathbf{b}}$ es el mejor estimador lineal insesgado de $\boldsymbol{\theta}$ dado por

$$\widehat{\mathbf{b}} = \Delta^{-1}(\mathbf{X}')^t\mathbf{Y} \quad (8)$$

y \mathbf{Z} es dado por:

$$\begin{aligned}
\mathbf{Z} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & \mathbf{0} \\ 0 & 1 & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/\lambda_1 & 0 & \dots & \mathbf{0} \\ 0 & 1/\lambda_2 & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1/\lambda_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{k}_1 & 0 & \dots & \mathbf{0} \\ 0 & \mathbf{k}_2 & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \mathbf{k}_p \end{bmatrix}^{-1} \\
\mathbf{Z} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & \mathbf{0} \\ 0 & 1 & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{k}_1/\lambda_1 & 0 & \dots & \mathbf{0} \\ 0 & \mathbf{k}_2/\lambda_2 & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \mathbf{k}_p/\lambda_p \end{bmatrix}^{-1} \\
\mathbf{Z} &= \begin{bmatrix} 1 + \mathbf{k}_1/\lambda_1 & 0 & \dots & \mathbf{0} \\ 0 & 1 + \mathbf{k}_2/\lambda_2 & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 + \mathbf{k}_p/\lambda_p \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \lambda_1 + \mathbf{k}_1 & 0 & \dots & \mathbf{0} \\ \lambda_1 & & & \\ 0 & \lambda_2 + \mathbf{k}_2 & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_p + \mathbf{k}_p \\ & & & \lambda_p \end{bmatrix}^{-1} \\
\mathbf{Z} &= \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & \mathbf{0} \\ \lambda_1 + \mathbf{k}_1 & & & \\ 0 & \lambda_2 & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_p \\ & & & \lambda_p + \mathbf{k}_p \end{bmatrix}^{-1}
\end{aligned}$$

Por lo que $\hat{\mathbf{b}} = \mathbf{Z}\hat{\mathbf{b}} = [\Delta + \mathbf{K}]^{-1} \hat{\mathbf{X}}^t \mathbf{Y}$ o equivalentemente $\hat{\mathbf{b}} = \mathbf{Z}^{-1} [\Delta + \mathbf{K}]^{-1} \hat{\mathbf{X}}^t \mathbf{Y}$ es dado por

$$\hat{\mathbf{b}} = \begin{bmatrix} \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mathbf{k}_1} & 0 & \dots & \mathbf{0} \\ 0 & \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mathbf{k}_2} & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \mathbf{k}_p} \end{bmatrix}^{-1} \left[\begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & \mathbf{0} \\ 0 & \lambda_2 & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{k}_1 & 0 & \dots & \mathbf{0} \\ 0 & \mathbf{k}_2 & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \mathbf{k}_p \end{bmatrix} \right]^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ \mathbf{X}_{11} & \mathbf{X}_{22} & \dots & \mathbf{X}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{X}_{p1} & \mathbf{X}_{p2} & \dots & \mathbf{X}_{pn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{y}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{y}_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
\hat{\mathbf{b}} &= \begin{bmatrix} \frac{\lambda_1 + \mathbf{k}_1}{\lambda_1} & 0 & \dots & \mathbf{0} \\ 0 & \frac{\lambda_2 + \mathbf{k}_2}{\lambda_2} & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{\lambda_p + \mathbf{k}_p}{\lambda_p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{\lambda_1 + \mathbf{k}_1} & 0 & \dots & \mathbf{0} \\ 0 & \frac{1}{\lambda_2 + \mathbf{k}_2} & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{\lambda_p + \mathbf{k}_p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ \mathbf{X}_{11} & \mathbf{X}_{22} & \dots & \mathbf{X}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{X}_{p1} & \mathbf{X}_{p2} & \dots & \mathbf{X}_{pn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{y}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{y}_n \end{bmatrix} \\
\hat{\mathbf{b}} &= \begin{bmatrix} 1/\lambda_1 & 0 & \dots & \mathbf{0} \\ 0 & 1/\lambda_2 & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1/\lambda_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ \mathbf{X}_{11} & \mathbf{X}_{22} & \dots & \mathbf{X}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{X}_{p1} & \mathbf{X}_{p2} & \dots & \mathbf{X}_{pn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{y}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{y}_n \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Entonces, por el teorema de existencia de la RGR (J. S Chawla, 1988), el estimador de RGR tiene superioridad sobre MC, en la estimación de los coeficientes de regresión en el sentido del CME. La prueba de el teorema, requiere de los siguientes dos lemas.

Lema 1:

$$\mathbf{CME}(\hat{\mathbf{b}}) = \sigma^2 \Sigma [\lambda_i / (\lambda_i + \mathbf{k}_i)^2] + \Sigma [\mathbf{k}_i^2 \theta_i^2 / (\lambda_i + \mathbf{k}_i)^2]$$

Prueba:

$$\mathbf{CME}(\hat{\mathbf{b}}) = \mathbf{E}(\hat{\mathbf{b}} - \theta)^t (\hat{\mathbf{b}} - \theta) = \mathbf{E}(\mathbf{Z}\hat{\mathbf{b}} - \theta)^t (\mathbf{Z}\hat{\mathbf{b}} - \theta) \tag{9}$$

$$\mathbf{CME}(\hat{\mathbf{b}}) = \mathbf{E}(\mathbf{Z}\hat{\mathbf{b}} - \mathbf{Z}\theta)^t (\mathbf{Z}\hat{\mathbf{b}} - \mathbf{Z}\theta) + \mathbf{E}(\mathbf{Z}\theta - \theta)^t (\mathbf{Z}\theta - \theta)$$

Ahora,

$$\begin{aligned} \mathbf{E}(\mathbf{Z}\hat{\mathbf{b}} - \mathbf{Z}\theta)^t(\mathbf{Z}\hat{\mathbf{b}} - \mathbf{Z}\theta) &= \text{Trazo} \left[\mathbf{E}(\mathbf{Z}\hat{\mathbf{b}} - \mathbf{Z}\theta)^t(\mathbf{Z}\hat{\mathbf{b}} - \mathbf{Z}\theta) \right] \\ &= \text{Trazo} \left[\mathbf{Z}\mathbf{E}(\hat{\mathbf{b}} - \theta)^t(\hat{\mathbf{b}} - \theta)\mathbf{z}^t \right] = \text{Trazo} \left[\mathbf{Z}\sigma^2\Delta^{-1}\mathbf{Z}^t \right] \end{aligned} \quad (10)$$

De esa forma la primera parte de (9) es dada por:

$$\begin{aligned} \sigma^2 \text{Trazo}(\mathbf{Z}\Delta^{-1}\mathbf{Z}^t) &= \sigma^2 \begin{bmatrix} \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mathbf{k}_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mathbf{k}_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \mathbf{k}_p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/\lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1/\lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1/\lambda_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mathbf{k}_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mathbf{k}_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \mathbf{k}_p} \end{bmatrix} \\ \sigma^2 \text{Trazo}(\mathbf{Z}\Delta^{-1}\mathbf{Z}^t) &= \sigma^2 \begin{bmatrix} \frac{1}{\lambda_1} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mathbf{k}_1} \right) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{\lambda_2} \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mathbf{k}_2} \right) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{\lambda_p} \left(\frac{\lambda_p}{\lambda_p + \mathbf{k}_p} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mathbf{k}_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mathbf{k}_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \mathbf{k}_p} \end{bmatrix} \\ \sigma^2 \text{Trazo}(\mathbf{Z}\Delta^{-1}\mathbf{Z}^t) &= \sigma^2 \begin{bmatrix} \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mathbf{k}_1)^2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{\lambda_2}{(\lambda_2 + \mathbf{k}_2)^2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{\lambda_p}{(\lambda_p + \mathbf{k}_p)^2} \end{bmatrix} \\ \text{Trazo} \left[\mathbf{Z}\sigma^2\Delta^{-1}\mathbf{Z}^t \right] &= \sigma^2 \Sigma \left[(\lambda_i) / (\lambda_i + \mathbf{K}_i)^2 \right] \end{aligned} \quad (9a)$$

En la misma forma el segundo término de (9) $\mathbf{E}(\mathbf{Z}\theta - \theta)^t(\mathbf{Z}\theta - \theta)$, puede ser escrito como $\text{Trazo}\theta(\mathbf{Z} - \mathbf{I})^t(\mathbf{Z} - \mathbf{I})\theta$ y es dado por:

$$\begin{aligned} \text{Trazo}\theta(\mathbf{Z} - \mathbf{I})^t(\mathbf{Z} - \mathbf{I})\theta &= \theta \begin{bmatrix} \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mathbf{k}_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mathbf{k}_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \mathbf{k}_p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mathbf{k}_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mathbf{k}_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \mathbf{k}_p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \theta \\ \text{Trazo}\theta(\mathbf{Z} - \mathbf{I})^t(\mathbf{Z} - \mathbf{I})\theta &= \theta \begin{bmatrix} \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mathbf{k}_1} & -1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mathbf{k}_2} & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \mathbf{k}_p} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mathbf{k}_1} & -1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mathbf{k}_2} & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \mathbf{k}_p} & -1 \end{bmatrix} \theta \end{aligned}$$

$$\text{Trazo}\theta(Z - I)^t(Z - I)\theta = \theta \left[\begin{array}{cccc} -\frac{k_1}{\lambda_1 + k_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -\frac{k_2}{\lambda_2 + k_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & -\frac{k_p}{\lambda_p + k_p} \end{array} \right]^t \left[\begin{array}{cccc} -\frac{k_1}{\lambda_1 + k_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -\frac{k_2}{\lambda_2 + k_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & -\frac{k_p}{\lambda_p + k_p} \end{array} \right] \theta$$

$$\text{Trazo}\theta(Z - I)^t(Z - I)\theta = \theta \left[\begin{array}{cccc} \frac{k_1^2}{(\lambda_1 + k_1)^2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{k_2^2}{(\lambda_2 + k_2)^2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{k_p^2}{(\lambda_p + k_p)^2} \end{array} \right] \theta$$

$$\text{Trazo}\theta(Z - I)^t(Z - I)\theta = \Sigma \left[k_i^2 \theta_i^2 / (\lambda_i + k_i)^2 \right] \quad (9b)$$

Lo cual completa la prueba.

Lema 2 $\sigma^2 \left[(\lambda_i) / (\lambda_i + K)^2 \right] + \theta_i^2 \left[K^2 / (\lambda_i + K)^2 \right]$ es una función monóticamente decreciente si $0 \leq k \leq \sigma^2 / \theta_i^2$.

Prueba:

Sea

$$f_i(k) = \sigma^2 \left[(\lambda_i) / (\lambda_i + K)^2 \right] + \theta_i^2 \left[K^2 / (\lambda_i + K)^2 \right] \quad (11)$$

$$f_i(k) = \frac{\sigma^2 \lambda_i + \theta_i^2 k^2}{(\lambda_i + K)^2} = (\sigma^2 \lambda_i + \theta_i^2 k^2) (\lambda_i + K)^{-2}$$

De esa forma

$$f_i'(k) = (-2\sigma^2 \lambda_i + 2\theta_i^2 \lambda_i k) / (\lambda_i + k)^3 \quad (12)$$

Desde que $f_i'(k) < 0$ si $k_i < \sigma^2 / \theta_i^2$, la prueba está completa.

TEOREMA: $\text{CME}(\hat{b}) < \text{CME}(\hat{b})$ si el mayor de los $k_i < \Omega$; Donde:

$$\Omega = \min \left\{ \sigma^2 / \theta_i^2; i = 1, 2, \dots, p \right\} \quad (13)$$

Prueba: del lema 2

$$\sigma^2 \left[(\lambda_i) / (\lambda_i + K)^2 \right] + \theta_i^2 \left[K^2 / (\lambda_i + K)^2 \right] < \sigma^2 / \lambda_i \text{ si } 0 < k_i < \sigma^2 / \theta_i^2 \quad (14)$$

de esa forma,

$$\sigma^2 \Sigma \left[(\lambda_i) / (\lambda_i + K_i)^2 \right] + \Sigma \theta_i^2 \left[K_i^2 / (\lambda_i + K_i)^2 \right] < \sigma^2 \Sigma (1 / \lambda_i) \quad (15)$$

si el mayor de los $k_i < \min \left\{ \sigma^2 / \theta_i^2; i = 1, 2, \dots, p \right\}$, o equivalentemente

$$\text{CME}(\hat{b}) < \text{CME}(\hat{b}) \quad (16)$$

Si el mayor de los $k_i < \Omega$, lo cual completa la prueba.

Colorario: Cuando $k=0$, la función del Cuadrado Medio del Error del estimador de Regresión General Ridge, es la función del Cuadrado Medio del Error del estimador de Mínimos Cuadrados

$$\sigma^2 \Sigma [(\lambda_i) / (\lambda_i + \mathbf{K}_i)^2] + \Sigma \theta_i^2 [\mathbf{K}_i^2 / (\lambda_i + \mathbf{K}_i)^2] = \sigma^2 \Sigma (1 / \lambda_i) \text{ si y solo si } \mathbf{k}_i = \mathbf{0} \text{ for } i=1, \dots, p$$

Prueba:

$$\sigma^2 \Sigma [(\lambda_i) / (\lambda_i + \mathbf{0})^2] + \Sigma \theta_i^2 [\mathbf{0} / (\lambda_i + \mathbf{0})^2] = \sigma^2 \Sigma (1 / \lambda_i)$$

$$\sigma^2 \Sigma [\lambda_i / \lambda_i \lambda_i] + \Sigma \theta_i^2 [\mathbf{0}] = \sigma^2 \Sigma (1 / \lambda_i)$$

$$\sigma^2 \Sigma [1 / \lambda_i] = \sigma^2 \Sigma (1 / \lambda_i) \tag{17}$$

Lo cual completa la prueba.

CONCLUSIÓN

En este artículo, utilizamos el criterio del CME, para comparar los estimadores de RGR y MC como una alternativa para ajustar un modelo polinomial en regresión lineal múltiple. Aquí, también mostramos que el estimador RGR, es mejor que el estimador de MC en el sentido del CME, cuando el problema de multicolinealidad está presente. El resultado singular de que la función del CME del estimador RGR, es la función del CME del estimador de MC cuando $K=0$, fue establecido como colorario.

REFERENCIAS

- Box G. E. P. and Draper N. R. 1987. Empirical Model-Building and Response Surfaces, New York: Jhon wiley and Sons.
- Creel M. 2002. Graduate Econometrics Lecture Notes, University of Barcelona, España, version 0.4, Revised November 2002.
- Montgomery D. C. 1991. Diseño y Análisis de Experimentos, México D. F. versión en español, Grupo Editorial Iberoamérica.
- Obenchain R. L. 1975. "Ridge Analysis Following a Preliminary Test of the Shrunk Hypotesis", Technometrics, E.U.A. Vol. 17, No.4, 431-441.
- Chawla J. S. 1988. "The Existence Theorem in General Ridge Regression" Elsevier Science Publisher, North-Holland Nova Scotia, Canada. Vol. 7, Issue 2, 135-137.

El Lector Científico^{1/2}

Joshua Lederberg³

No hago mucho trabajo editorial por estos días; estoy regresando a mi trabajo en el laboratorio después de un lapso de 12 años, y esto me ha tenido muy ocupado tratando de ponerme al día con la literatura de mi propio campo. Así que les ofreceré una perspectiva de lector científico. Ahora, alguna gente me ha comentado que ser lector significa ser una especie en extinción. Cualquiera que diga esto, aún con ironía, es una atrocidad.

Una de las funciones personales con mi grupo de laboratorio es la de tratar de ser el principal lector. Si algo sucede en el mundo exterior y ninguno de nosotros lo ha escuchado dentro de un período de dos o tres semanas, yo soy quien se siente responsable. Trato de estar alerta a los eventos que puedan ser de mucha importancia para lo que pensamos sobre nuestra propia investigación, para nuestros planes, sobre los datos que se reciben o sobre las fuentes de error.

Déjenme empezar con unos cuantos truisms, sólo para estar seguro de que estamos operando sobre en un ambiente común de reverencia por las publicaciones en proceso. Una publicación científica es, para empezar, sólo eso, una publicación. Convierte el conocimiento privado en conocimiento público, y la intención es la de registrar un reclamo privado de autoría original, como por ejemplo un descubrimiento en la ciencia, como propio. El acto de publicar es, sobre todo, una inscripción bajo juramento, un testimonio. Se acepta como válido hasta que otra evidencia firme se sea aceptada como contraria. Hay un estándar de extrema responsabilidad en lo que es publicado bajo el nombre de una persona dada. Basta mirar los encabezados diarios. Es el ingrediente esencial para hacer el trabajo científico responsable en el sentido de que uno no puede retractarse



Don Quijote. Doré.

rápidamente de las afirmaciones que ha suscrito, entregarlo a prensa, y hacerlo accesible a miles.

Estos reclamos públicos de conocimiento o publicaciones también juegan un importante papel en la ubicación de los recursos económicos, así como lo es la habilidad de diferentes científicos para sobrevivir en competencia con otras demandas de dinero legítimas, ya sea para el apoyo de laboratorios, para plazas en las instituciones, para espacio en las revistas, o para atraer estudiantes y colaboradores.

Tanto el autor como la audiencia se benefician con la sucesiva validación de esos reclamos: uno no tiene que gastar una cantidad inusitada de tiempo examinando cada detalle de lo generado por un individuo si esa persona ha establecido credibilidad a través de publicaciones previas y ha estado expuesto a la comunidad científica.

La publicación también resulta un *repositorium*, que continua

enriqueciendo y construyendo la tradición de la ciencia. Más allá de este punto, difícilmente un individuo puede ser anónimo cuando se trata de desarrollar funciones como las indicadas. Pero a medida que transcurre el tiempo tenemos que reasimilar el contenido del trabajo científico, y a medida que ese

¹ Excerpta de Communication as the root of scientific progress. *The Scientist* 7[3]:10, Feb. 08, 1993.

² Traducción: Victoriano Garza Almanza.

³ Premio Nóbel 1958.

conocimiento se establece y sobrevive al criticismo que sin duda debió de haber tenido durante las etapas iniciales del proceso, se convierte en tradición, la incuestionable sabiduría compartida, que después deviene anónima por añadidura.

La literatura científica es también un foro. Es una arena de gladiadores para la competencia de reclamos de conocimiento científico, donde se resuelven discrepancias en datos o interpretaciones. Tiempo atrás ese foro era oral, dónde solían darse presentarse duelos verbales, como aquella confrontación entre Luis Pasteur con Félix Pouchet que en 1864 puso fin al polémico asunto de la generación espontánea. En la actualidad, nuestros combates son a menudo peleados en la imprenta, lo cual es apropiado porque el testimonio se publica y queda disponible a toda la gente, no sólo a los espectadores más cercanos.

A pesar de la oportunidad de que la publicación puede ser diseminada más allá de las fronteras, hay una paradoja, que la difusión restringe el acceso a la retroalimentación. El sistema de publicaciones, al menos en principio, debe permitir una dialéctica que aparezca en términos más simétricos de forma tal que cualquiera individuo decidido tenga forma de entrar al sistema.

Si la literatura es un foro, también es un rumen, un lugar para la digestión y asimilación de una variedad de información dónde los reclamos científicos pasan por un período de maduración, modificación y modulación. Incluso las verdades publicadas se miran diferentes cinco o diez años después de su aparición, sin considerar las críticas. Podemos esperar un proceso de reinterpretación, una reexaminación post histórica del sentido de sus términos.

Y ahora sólo necesito recordarles el término *imprimatur* (una maravillosa metáfora): el testigo impreso de que un artículo, habiendo aparecido en una revista arbitrada o *journal*, ha sobrevivido a un proceso crítico, a una conspiración si ustedes quieren, de los editores y publicistas y árbitros, de que algo ha aparecido y que es digno de los intereses compartidos y de la atención de la comunidad.



Gorka. Pila de libros.

Leer literatura científica ha sido mi principal vocación por 50 años. ¿Me permiten decirles que hago como lector científico hoy en día?

En primer lugar, los libros juegan un papel menor. Hoy se usan más como referencia. En el dominio de la ciencia, nosotros los científicos raramente tenemos el placer

de leer un libro de cabo a rabo. Pocas biografías llaman la atención. Acabo de terminar la historia de Carl Djerassi: *La píldora, los chimpancés pigmeos y el caballo de Degas* (Fondo de Cultura Económica, 1996); otro de este género fue la revelación de Francois Jacob sobre el desarrollo científico: *The statue within* (NY Basic Books, 1988). Estos libros, obviamente, no contribuyen al detalle en la forma en como haré mi próximo experimento, pero me dicen mucho acerca de la personalidad científica, ofreciéndome lecciones objetivas y modelos para emular.

Raramente veo un trabajo que obliga a una ingestión total, p.e. la *Fisiología de la célula bacterial* (Sunderland, Mass., Sinauer Assoc., 1990) de Frederick Neidhart et al. Este libro es, a un nivel elemental de exposición que realmente me ha maravillado, una magnífica síntesis de destilación y deliberación del pensamiento que se acerca al cuento. Libros tan claros y atractivos como este son raros. En su

forma impresa serán, sin duda, sobrevivientes de cualquier revolución industrial.

A un nivel intermedio de indispensabilidad como libros impresos, están los **Annual Review**. Estos son trabajos de referencias que, por lo que sea, uno tiene que mirar; porque ellos dan oportunidad de hacer una revisión rápida a través de la enorme cantidad de literatura de la misma clase. Compárese un Annual Review de Genética con los números regulares del Journal de Genética. Aunque yo tuviera el tiempo para leer cada uno de los artículos dentro del journal, no tendría los conocimientos para poner la información de cada uno de ellos en un contexto apropiado sobre lo que significan, ¡y eso que yo considero a la genética como mi especialidad! La gente gastará diferentes cantidades de tiempo y energía, también, tratando de entender que pasa en la ciencia más allá de la ventana del propio trabajo particular en su investigación y su enseñanza.



Lector en penumbras.

Hay alrededor de una docena de journals a los cuales yo estoy suscrito, y quizá siete u ocho sean los que escudriño de principio a fin: Nature, Science, Proceedings of the National Academy of Science, The Journal of Bacteriology, Microbiological Reviews, Genetics, y Biochemistry. También tomo algún “artículo caliente” de The Scientist, veo The Sciences, New Scientist, American

Scientist y Scientific American. Estoy hablando de un escudriño de textos y no de inmersión en la lectura. Tú no podrás leer cada artículo, procedente de las publicaciones que he enlistado y dentro de la cantidad de horas que hay en una semana, de un modo crítico y detallado. Lo que puedes hacer en un par de horas cada día, es explorar el material disponible y tratar de sacar aquellas cosas que puedan ser de interés. Para seguir la estructura del argumento sólo en nuestro campo de especialidad, uno debe de ir al detalle tratando de comparar los números y gráficas para ver si no contradicen lo que el autor afirma, todo lo cual es un arduo trabajo.

En términos de mantener una idea general acerca de lo que pasa en la especialidad, los investigadores son bien servidos por los journals, y los journals corresponden muy bien a la energía, interés y agudeza intelectual que los lectores científicos ponen en el proceso. No veo motivo para que esto sea alterado. Muchos científicos están muy agradecidos con los journals, pues proveen el material que miles de investigadores compartirán como moneda corriente, llevarán en sus maletines y leerán en los aeroplanos, con toda la conveniencia del formato impreso.

Mi principal problema es: ¿Cómo uno adquiere de nueva cuenta y vuelve a trazar el tráfico intelectual? ¿Qué hace uno con sus notas marginales, y como sintetiza uno un sistema coherente a partir de lo leído? Bueno, para intentar manejar esta situación, semanalmente me llega el Current Contents, con todos sus embellecimientos, en

disquete. Cada semana, ansiosamente espero los cinco o seis disquetes que tienen que ser cargados, y algunas veces impaciente por el tiempo que toma para poder continuar con la literatura de la semana. Los perfiles elaborados funcionan razonablemente bien, pero tengo que maquillarlos de tiempo en tiempo. Uno descubre nuevas claves, otras notaciones que los autores insisten en cambiantes manías o por idiosincrasias del lenguaje. Puedo garantizar que los perfiles que escribo durante estas consultas, sobre bases normales, recobran el 90% de lo que he leído o podría querer leer. ¡Dios me asista si pierdo mis notas!

Luego viene el detalle de como mantenerse cerca del conocimiento más próximo a mi especialidad. Leer dos o tres artículos por día no es difícil. Y, aún con el más acucioso examen crítico, llego a los puntos sobre las gráficas y todo eso, leyéndolos por completo. Mi problema es la acumulación aritmética. Después de una década, he juntado 10,000 artículos que he tenido que mantener ubicados por los textos, mis notas marginales y esas cosas. ¡Y aquí mi sistema está roto! Para todo esto tengo un arreglo tecnológico en camino: el escáner de documentos que me permitirá guardar las imágenes y digitalizar mis escritos en una base de datos manejable. Unos cuantos discos compactos almacenarán la información.

En una disciplina dada, existen uno o dos journals que el especialista debe conocer. Tal vez haya unas

doscientas personas en el mundo que tengan tal nivel de interés y que vean cada uno de sus artículos. Hay journals de interés general, y luego una pobre distribución de las otras fuentes de información. Por mi parte, de unos 30 artículos adicionales al mes, quizá la mitad proceden de 15 journals. Probablemente tú puedas extrapolar el resto usando la Ley de Bradford, que establece que un número relativamente pequeño de journals es el que responde a la gran mayoría de las publicaciones importantes en un campo. Así, cerca del 90% de los artículos más importantes se publican en aproximadamente 35 journals, y entonces hay una gradual asíntota que se desvanece fuera del punto de retorno de la cobertura total que el sistema ofrece. A pesar de nuestros esfuerzos más

sistemáticos, algún importante artículo salta de manera serendípica de algún oscuro lugar.

De tal manera, cada uno de nosotros encara la recuperación selectiva del material que está colocado en un dominio cósmico bibliográfico, y que otro investigador ganoso en ese repositorio universal. La tecnología presente permite al investigador aproximarse a ese mundo para recobrar con cierta confianza lo que busca. Por otro lado, si uno sigue la huella de lo que ha escrito y acumulado en piezas de papel es frustrante. El siguiente paso, integrar esto en tu propia biblioteca de conocimiento útil, simplemente no es fácil de lograr.

El hecho es que la literatura científica ha crecido más allá del campo de entendimiento de cualquier cantidad de personas; está construido en base al crecimiento del conocimiento que las mejoras en comunicación y almacenamiento no van a alterar

Hay diferentes adaptaciones a la inundación informativa, y más y más vemos lo que sólo puedo describir como un escándalo, que la literatura científica no siempre es tomada en serio. En encuestas realizadas a científicos, muchos han declarado que la primera fuente de información acerca de un trabajo científico en su área no es la literatura publicada en journals; es la comunicación oral, palabra por palabra vía telefónica, al atender una reunión o algo por el estilo.

Pero yo encuentro esas clases de fuentes poco confiables. Me siento poco confortado cuando la única manera por la que he sabido de algo es de manera verbal. Si no puedo sostener la fuente

diciendo que se publicó en tal revista, no podré ver las cosas con detalle, rumiarlas, pensar a través de reacciones secundarias. Ignoro si mis colegas comparten conmigo el modo de leer. Ellos podrán pensar que no tienen otra alternativa que levantar lo que está en el molino de los rumores, pero creo que se pueden promulgar grandes errores de esta manera.

El teléfono es un hermoso instrumento, pero cuando lo uso para obtener información, la gente que tiene lo que yo busco está todo el tiempo ocupada. Odio usufructuar su tiempo, y, si lo hago, generalmente llamo varias veces antes de agarrarlo y solicitar información. Si es una referencia lo que obtengo, estoy verdaderamente encantado; pero si es una atribución, entonces no podré ir más allá de: "Tú sabes, esto es lo que pienso". Con esto no

creo que vaya más allá de lo que tenía antes de llamar.

Por último, no tomar la literatura científica con seriedad refuerza la tendencia de que se ve en las bibliotecas, en desesperación, en cancelación de suscripciones a revistas que no son muy demandadas y leídas. Así que no tiene sentido tener una copia de una revista que raramente será leída por alguien en la institución.



Meninas. Picasso.



A veces me siento y pienso...



y a veces, nada más me siento

La ciencia tan llevada y tan traída.

De nuevo a la palestra la ciencia y la tecnología, quizá el arma más efectiva para el progreso de los pueblos.

Y nosotros, ¿cuándo?

Paraphraseando a Carlos Fuentes, digo ciencia y tecnología... y pienso en educación.

Lo anterior viene a cuento porque se acercan los tiempos de cuentos y promesas electorales; están por describirnos el futuro paisaje de nuestro país. El cuento que cada seis años nos arruya y nos deja durmiendo durante todo ese periodo, hasta que toca que nos vuelva a mecer el país.

Aquí está el paisaje que queremos, lo tomo

literalmente de Carlos Fuentes, él lo pintó el 7 de octubre de 1999, al recibir del Senado de la República la Medalla Belisario Domínguez:

“Y no hay ni habrá recurso más seguro para acortar la distancia entre la velocidad del desarrollo técnico y científico en el primer mundo y su retraso en el nuestro que el camino de la educación.

Digo cultura y digo conocimiento. Digo cultura y digo de nuevo educación; pero digo educación, y pienso no sólo en escuelas; si no en talleres, fábricas, en centros de salud, en comunicaciones y pienso en hogares.

Digo educación y pienso en capital humano, no sólo abundante, sino enérgico, inteligente y necesitado de instrumentos y hábitat básicos para rendir óptimamente sus frutos.

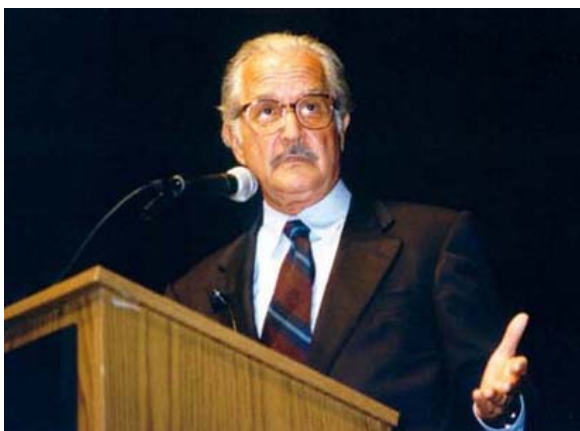
Digo educación y pienso en iniciativas ciudadanas; pienso en la vida municipal; pienso en educación y pienso en políticas fiscales, ahorro, inversión, atracción de capitales productivos, liberación de la mujer, protección del medio ambiente, fortalecimiento de la empresa privada productiva del Estado regulador y de las organizaciones de la sociedad civil que le den en su conjunto el techo protector suficiente para su desarrollo a las mayorías desposeídas de México.

Pienso en educación, para eliminar la injusticia, el abuso, la discriminación, la falta de respeto a nuestros conciudadanos, y sobre todo, la corrupción; la corrupción que es la forma más brutal de robarles a los pobres.

Pienso en educación y pienso en una cultura de la legalidad, que despida para siempre la incultura, de la arbitrariedad.

Pienso en educación y pienso en tolerancia; pienso en educación y pienso en experiencia; pero pienso en experiencia y pienso en destino; destino de los actos y destino de las palabras”

El cuadro está completo, no hay que agregar nada. Lo que resta es convertirlo en realidad, pasar a la acción que sigue a la palabra.



Carlos Fuentes
Universidad de Florida

lfernand@uacj.mx



Publica o perece

El Artículo Científico

El artículo científico es el primer registro público y oficial de un investigador. Su objetivo es el de dar a conocer los resultados obtenidos en su investigación y asentar el reclamo de prioridad del autor, y su principal característica es la reproducibilidad de los experimentos que condujeron al científico a los resultados mostrados.

El artículo científico se trata de una publicación primaria, de acuerdo al *Council of Science Editors*, por lo que los científicos interesados en el tema deben de encontrar en esta clase de documentos la suficiente información para:

1. Analizar las observaciones
2. Repetir los experimentos
3. Evaluar los procesos intelectuales

Pero esto no siempre fue así. Durante largo tiempo, entre los siglos XIX y XX, los científicos escribieron y publicaron sus trabajos en una forma más o menos entendida pero no tan convencional y protocolaria como ahora. Fue el *American National Standards Institute* quien, en 1972, estableció como norma para la elaboración de artículos científicos el sistema **IMRYD**, y con esto le dio un sentido más práctico.

Este sistema **IMRYD**, que fue adoptado universalmente, es el acrónimo de las palabras que conforman el “esqueleto” del artículo científico (Tabla 1).

La estructura **IMRYD** es utilizada, además, en la preparación de los documentos científicos, en apariencia, más disímiles, tales como: tesis de licenciatura o de postgrado, propuestas de investigación, conferencias y hasta ensayos de divulgación.

En la **introducción** se presentan los antecedentes del problema y se justifica la razón por la que se abordó su estudio. En el apartado de **métodos** se hace referencia a los procedimientos empleados para

resolver el problema y los **materiales** utilizados para ello. En los **resultados** se muestran los datos producidos por el trabajo. En la **discusión**, el autor interpreta sus hallazgos en relación a otros estudios y argumenta la validez del producto.

No todas las disciplinas científicas encajan con este modelo, que está diseñado en base a un esquema experimental, pues es el que surge al conceptualizar las actividades iterativas “ensayo-error” de la investigación, y de su descripción paso por paso. La intención es que cualquier científico, encuéntrase donde se encuentre, pueda repetir el experimento y llegar a los mismos resultados. Por un lado esto valida la investigación primaria, pero por otro permite a ese investigador abrir nuevas brechas de estudio a partir del trabajo analizado.

vgarza@uacj.mx



Ba'huí

Una Posibilidad

La mayoría de las veces una posibilidad me despierta una curiosidad, y es así como fui al INEGI y compré las cartas geológicas y las de aguas subterráneas de todo el Estado de Chihuahua, para tratar de saber un poco más al respecto. Lo mas natural para mí fue tomar las cartas de aguas subterráneas (admito mi debilidad por la cartografía y la facilidad para interpretarla, después de todo trabajé cerca de 10 años construyéndolas), y seleccionar la información con la que podría “jugar” sin muchas complicaciones.

Pronto empecé a trazar círculos y líneas de un lado para otro al grado de definir zonas de agua dulce, salobres y saladas; empezaron a surgir coincidencias entre lo que conocía del terreno y lo que aparecía en los planos y además muchas, muchas preguntas. Mi curiosidad tan solo fue el

arranque en primera; la segunda se encargó de meterla mi experiencia en exploración minera, cuando me empecé a preguntar si el agua dulce o la salobre tenían algún control estructural, es decir, percibía en la asociación de ciertos megarrasgos en las rocas cartografiadas, la existencia de pliegues (cojan una hoja de papel y apliquen fuerza en dos de sus lados opuestos) y a la vez me preguntaba de qué forma influye el perfil del basamento en la ocurrencia, química y dinámica de los acuíferos; el turno fue de las cartas geológicas. Lo más conspicuo de ellas son los afloramientos de calizas (Sierra de Juárez, Sierra de Presidio) y lo plano del terreno.

A simple vista y estructuralmente hablando en realidad no hay mucho de qué echar mano. A sabiendas de que la filosofía de las

cartas INEGI es solo mostrar y no interpretar, volví a la carga, o sea a “jugar” con la información trazando líneas que desde mi punto de vista definen ejes de estructuras, líneas y/o trazas de fallas y todo lo que se me ocurriera, después lo limpiaría. Sorpresa! desde el punto de vista regional, Samalayuca denotaba ser el núcleo de una estructura anticlinal grande (rasgo topográfico positivo con flancos inclinados a ambos lados) cuyo eje se extendía, según yo, mas hacia el sur que hacia el norte en donde además, parece desviarse hacia el noroeste; lo mismo sucede con la Sierra de Presidio dejando a la Sierra de Juárez aislada, con una orientación casi norte sur y

unas características diferentes a las otras, incluidas las Montañas Franklin.

En fin, archivé todas esas preguntas para mas adelante, por lo pronto no parecía haber relación alguna entre estructura y acuíferos. Por lo visto el basamento debe localizarse a grandes profundidades y

el acuífero debe ser del tipo libre (se denomina libre cuando no tiene límite superior, aunque puede tener uno inferior; al día de hoy todos los acuíferos conocidos en esta área son de este tipo, y se encuentran en materiales tipo arena y grava).

Toda esta información fue insuficiente. Había que armar un mapa con el fin de tener una visión regional. La elección fue armar cartográficamente, (es decir literalmente pegar carta con carta hasta tenerla imagen completa) a escala 1:250 000 el estado de Chihuahua, y continuar con la interpretación tratando de saber más de las condiciones geológico-estructurales y la forma en la que están asociadas a la existencia de los yacimientos de agua. ¡La curiosidad ha despertado!

carlosmartinez_mx@yahoo.com.mx



El Software en México

Gerardo Padilla

El tema de mi columna en este número se centra sobre la iniciativa del gobierno del estado de Jalisco relacionada con el desarrollo de la industria del software. Discuto y presento brevemente ideas importantes sobre estos trabajos dado que he tenido el placer de colaborar de cerca con algunas de las acciones realizadas durante los últimos años.

La iniciativa del Gobierno de Jalisco se encuentra descrita dentro del “Programa Estatal de Ciencia y Tecnología” en el punto de las “Política Jalisciense de Tecnologías de Información”. Esta sección del documento describe de manera precisa la situación actual de las tecnologías de información en México y de manera especial en el Estado de Jalisco. Así mismo se describen organismos que se han formado, estrategias y objetivos del plan así como nichos de mercado identificados. Este último aspecto, nichos de mercado, es el que comentaré a continuación.

Después de estudios mercadológicos y de tendencias de mercados efectuados a inicios del sexenio, se detectaron nichos de mercado potenciales que estuvieran alineados con la oferta real y potencial que las empresas e instituciones de educación e investigación pudieran ofrecer. Los nichos determinados donde se requerían formar recursos humanos fueron los siguientes:

1. Pruebas de Software y de Hardware (Software and Hardware Testing)
2. Multimedia (Efectos Especiales y Animación 2D-3D)
3. Sistemas de Administración de bases de datos orientadas a objetos (incluye Agentes Inteligentes y Sistemas Expertos).
4. Aplicaciones en Internet (Logística y Administración de la Cadena de Valor)
5. Firmware y Software Incorporado en los microprocesadores (Embedded Software)
6. Diseño de Semiconductores

Como parte del programa estatal de desarrollo, se han desarrollado tres programas de formación de recursos humanos especializados en las áreas de desarrollo de software y e-business (PAFTI), diseño en tecnología de semiconductores (PADTS) y multimedia, vía animación 2-D, 3-D y efectos especiales (CUAAM), de los cuales dos, el PADTS y el CUAAM, están en marcha desde noviembre del 2002.

En el área de pruebas de software se ha formado un consorcio integrando empresas con experiencia y capacidades en la realización de proyectos de calidad de software. Dicho consorcio pretende contribuir en la mejora de la calidad de los productos de software/firmware desarrollados en la entidad, ofertando servicios de pruebas y aseguramiento de calidad a las empresas del sector, a precios competitivos.

Como parte del plan de crecimiento del consorcio, se tienen actividades relacionadas con el reclutamiento de individuos y el desarrollo de sus habilidades en pruebas de software por medio de una educación formal basada en un cuerpo de conocimiento en el área de pruebas de software, así como en las mejores prácticas de clase mundial en dicha disciplina. Dichas actividades han sido un experimento muy revelador, dado que se han detectado deficiencias en los planes de estudio de carreras relacionadas con sistemas de software. Esto ha motivado una iniciativa que comprende el desarrollo de material didáctico para cursos a nivel técnico y universitario en el área de pruebas de software y aseguramiento de la calidad.

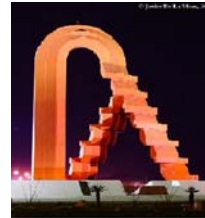
Quisiera mencionar que los procesos de prueba de software pueden ser tan o más complejos que el desarrollo de un producto. Se requieren técnicas complejas, disciplina, mediciones y una gran cantidad de trabajo intelectual y creativo. Sin embargo, dada la falta de capacitación y conocimiento formal en el tema de los participantes se ha tenido que efectuar un proceso de re-educación de los participantes.

De manera general puedo decir que, desde mi punto de vista personal, las iniciativas del gobierno de Jalisco han tenido una evolución satisfactoria, en especial el programa PADTS, el de Multimedia, y el de Pruebas de Software. El segundo está en proceso inicial, pero dado los resultados tenidos hasta la fecha se vislumbran muy buenos resultados a finales del año.

De manera personal creo que los trabajos realizados en el estado de Jalisco deberían de usarse como referencia para que otros estados aprendan de la experiencia desarrollada. El desarrollo de la industria de software en distintas regiones no se reduce a poner gente enfrente de computadoras. La complejidad requiere de trabajo de especialistas en distintas áreas de conocimiento.

gpadilla@cimat.mx

La Puerta



Pareciera que la medicina hoy en día, en muchas partes de México, existe como una profesión misteriosa donde el Galeno diagnostica por los síntomas y alivia el dolor aunque no cure la dolencia o la enfermedad. Hasta el siglo XIX toda la medicina en el mundo, salvo honrosas excepciones, era la clínica médica.

En nuestro siglo, irrumpen en el campo médico las biotecnologías que aplican las nuevas técnicas a su progreso y a las prácticas experimentales, profundizando el estudio de las etiologías, precisando los diagnósticos y aconsejando las terapias apropiadas a las más diversas enfermedades, especialmente los tratamientos medicamentosos y quirúrgicos. La práctica de la medicina que es la ciencia y el arte de curar a los enfermos y preservar su salud, significa para el profesional, el deber de desplegar una actividad técnicamente perfecta y someterse a la disciplina ética propia de su profesión partiendo ya no únicamente de la clínica, sino de la investigación médica.

El siglo XX estuvo caracterizado por grandes progresos de la ciencia médica que tomaron su punto de partida desde los tiempos de Hipócrates, tratando de llegar a los orígenes de la vida misma, investigando los misterios de las enfermedades funcionales y corporales, los mecanismos metabólicos, escrutando las cavidades más íntimas del organismo, sintetizando varias sustancias para contrarrestar los efectos letales de las enfermedades, creando la célula viva en el laboratorio, reemplazando órganos vitales (riñón, corazón, pulmón) con la cirugía, practicando la vídeo cirugía de invasión mínima. Para llegar a este objetivo tuvo que asociarse con otras ciencias como la física que le ofrece sus equipos electrónicos, la bioquímica para los métodos de diagnóstico, la sociología y la antropología para el estudio de las enfermedades del hombre en su medio o hábitat.

Así, el curandero arcaico dio paso respectivamente a la medicina primitiva, medieval, renacentista, del barroco, de la ilustración, la contemporánea, la atómica para ingresar a la cibernética y ve tú a saber que otras cosas más nos esperan en el futuro.

En esta época, en la que la mayoría se preocupa por la salud en general: la prevención de las enfermedades, la

curación y la rehabilitación se convierten en las actividades más idóneas para proporcionar salud a los ciudadanos. Es así, que de forma natural se vinculan estrechamente la salud, la ciencia y tecnología. Por tal motivo, el médico actual debe ocuparse por mantenerse en el dinamismo de dicha vinculación ya no nada más leyendo o asistiendo a cursos sino investigando, resolviendo verdaderos problemas socio sanitarios.

Es bien sabido que para dedicarse a cualquier actividad en específico se requieren de actitudes y aptitudes para ello, la del médico investigador no es la excepción. Esto nos lleva, en definitiva, a considerar la enseñanza de la investigación y el quehacer del investigador como parte integral de la formación tanto del estudiante, sea este de pre o postgrado, como del profesor de medicina. Definitivamente, la investigación en la medicina será inseparable del trabajo médico y no solamente en ciertas condiciones especiales o excepcionales. De ahí la importancia de la tarea que en este sentido debe cumplir toda institución de educación en ciencias de la salud.

Por tanto, para organizar la docencia de la Investigación Médica debiera reflexionarse sobre un aspecto indispensable: no basta una enseñanza formal de la investigación, aunque esté bien diseñada y sea dictada por profesores idóneos, sino que este esfuerzo educacional debe ser dirigido, en primer lugar, a la formación del quehacer del investigador y de los futuros docentes, demostrándole el valor del conocimiento y la resolución de problemas a partir de éste y en particular estimulándole en la adquisición de aquellas virtudes necesarias que forman al médico investigador. De ahí la importancia del buen ejemplo que en este sentido deben dar los docentes de una Institución de educación en ciencias de la salud y en particular de los hospitales universitarios, el que debe concordar con sus enseñanzas.

Finalmente, me es grato saber que en Chihuahua algunas instituciones ya se preparan de cara al gran reto que lo anterior significa para estos tiempos.

jorge.rodas@itesm.mx

El cartel como recurso para presentar resultados de investigación científica¹

Omar A. Piñero Fernández²

La utilización de carteles o póster (el término póster fue incorporado en la última edición del Diccionario de la Real Academia Española, no obstante, en el presente trabajo se prefiere utilizar el vocablo cartel) para presentar resultados de investigación en reuniones científicas, tanto nacionales como internacionales, es hoy un recurso en continuo desarrollo.

Actualmente, la estructura convencional de cualquier modalidad de reunión científica (congresos, talleres, simposios, seminarios, etc.), incluye, de una u otra forma sesiones de carteles; por lo que múltiples sociedades científicas reservan grandes espacios para estas presentaciones.

En la reunión anual de la Sociedad Americana de Hematología se presentaron 2,137 trabajos en cartel. Según la información que aparece en INFOMED (Red Electrónica de Información para la Salud de la República de Cuba), en las 39 reuniones científicas planificadas en 1997, se previó un aumento del número de trabajos presentados en cartel. Por ejemplo, en Hematología Inmunología'97 se presentaron 236 carteles (45 más que en la edición anterior de 1993).

Cómo preparar un cartel para una reunión científica

Es deber de los organizadores facilitar los requisitos mínimos para la presentación de carteles en el programa de la reunión, como son: la altura y anchura de su soporte (por lo general de 1m a 2m de alto por 95 cm de ancho), los elementos que se deben utilizar para fijar el material al soporte y el tamaño mínimo de los carteles del texto, así como también señalar la secuencia de la presentación (por lo común, de izquierda a derecha).

¹ Originalmente publicado en Rev. Cubana de Med. Gen. Integr. 1998;14(2). Se solicitó reproducción al autor.

² E-mail: hemato@infomed.sld.cu

Organización

La organización de un cartel debe seguir normalmente el formato IMRYD (Introducción, Métodos, Resultados y Discusión), aunque habrá que tener en cuenta las consideraciones gráficas y la necesidad de que sea sencillo (anexo).

Preparación del cartel

El cartel debe numerarse de forma que concuerde con el programa de la reunión. En el Palacio de Convenciones se inserta, por parte de los organizadores, en el extremo superior derecho del panel, el número correspondiente al que aparece en el Libro de Resúmenes en la Sesión de Carteles.

- El título debe ser corto y llamativo (en lo posible); si es demasiado largo puede no caber en el soporte de exhibición. Debe ser legible desde una distancia de por lo menos 1,2 m .
- Los caracteres deben ser gruesos y negros, y de unos 3 cm de altura.
- Nombres de los autores en un puntaje algo más pequeño (2 cm).
- Caracteres del texto: 4 mm de altura. Se recomienda utilizar el tipo de letra Orator o Times New Roman (24 ó 26) de los editores de texto Word o Word Perfect.
- Cada ilustración debe tener un título breve.
- Los diagramas, dibujos y elementos similares deben ser claros y concisos, sin detalles innecesarios.
- La secuencia de la presentación es, por lo común, de izquierda a derecha y debe orientar al lector con números y flechas sobre el orden que se debe seguir al leer cada elemento expuesto.

Es importante que haya mucho espacio en blanco en todo el cartel. El apiñamiento de elementos alejará al público; no obstante, es recomendable destacar visualmente algunas partes, de manera que se cumplan los principios de informar, persuadir y recordar.

Ventajas de un cartel con respecto a otras formas de exposición científica

1. Facilita mostrar los resultados de un experimento complejo, mejor que en una presentación verbal (con mayor posibilidad de comprensión por parte del que lo recibe).

2. Permite la lectura en un lugar específico para un público interesado.

3. Se puede retornar al lugar de presentación cuantas veces sea necesario, en dependencia de si existe límite de tiempo o no para su exhibición.

4. Posibilita estudiar la presentación de las imágenes en detalle.

5. El autor puede distribuir, en cualquier momento, plegables con información más detallada.

6. Admite la utilización de varios tipos de ilustraciones, tales como: fotografías, gráficos, dibujos, pinturas, radiografías, etcétera.

Existen carteles para la docencia, la presentación de casos clínicos, proyectos de investigación y promoción de medicamentos, entre

otros. Actualmente, muchos de estos carteles se diseñan por medios electrónicos que utilizan programas especialmente concebidos para tales fines. Una modalidad muy utilizada para garantizar una calidad superior en las sesiones de carteles, es otorgar diferentes estímulos o premios (muchas veces en metálico) al cartel que reúna el mejor diseño y presentación en reuniones y jornadas científicas.

Exposición del trabajo por él/autores

El autor o presentador necesita conocer qué hacer antes, durante y después de la sesión de carteles. Debe estar a la hora señalada en la sesión de carteles para responder a las preguntas de sus colegas y ampliar la información expuesta. Existen programas de reuniones que incluyen simposios de sesiones de carteles. En el Congreso de la Asociación Internacional de Asmología celebrado en abril de 1996 en Montpellier, Francia, se organizaron sesiones de carteles en simposios y se especificó en el programa de la reunión la hora exacta en que debía estar el autor frente a su cartel y el tiempo de que disponía para precisar detalles.

Publicación del trabajo en cartel

En los requisitos uniformes del Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas, sección Publicación previa y duplicada, se expresa: "no se impide considerar (para publicar) un artículo presentado en una reunión científica si éste no aparece íntegramente en las actas de la reunión o en una publicación semejante. Tampoco se consideran las

informaciones periodísticas acerca de la reunión o de un cartel en particular, si no se amplían mediante datos suplementarios o copias de los cuadros y las ilustraciones".




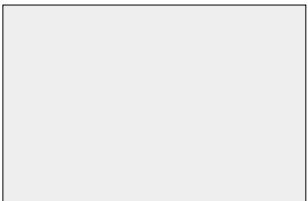
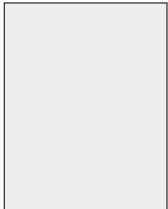

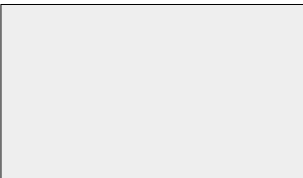
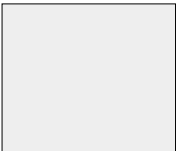
Es recomendable publicar posteriormente el trabajo presentado en forma de cartel porque, si por una parte, éste constituye la primera presentación pública como informe científico, la investigación científica no está completa mientras sus

resultados no se publican en fuentes primarias de información.¹

Bibliografía

- American Society of Hematology. Annual Meeting 38. 1996. Orlando, Fl. [Abstracts] Blood 1996;88(10 Suppl 2):1225.
- Bernreuter M. Poster competition. 1995. Another way to increase university-service interchange. J Nurs Adm;25(9):8-9.
- Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas. 1996. Requisitos uniformes para preparar los manuscritos enviados a revistas biomédicas. Rev Cubana Hematol Immunol Hemoter;12(1):54-71.
- Day RA. 1996. Cómo escribir y publicar trabajos científicos. 2. ed Washington, DC: OPS. (Publicación Científica;558).
- Forsyth R, Waller A. 1995. Making your point: principles of visual design for computer aided slide and poster production. Arch Dis Child;72(1):80-4.
- Rankin RN, Downey DB, Rutt BK, Rankin RN. 1994. Poster production by color laser imagen. J Biocommun;21(3):22-4.

Programa para la Formación de Investigadores IIT/UACJ

	NOMBRE DEL AUTOR O AUTORES	
INTRODUCCION	 <small>MATERIAL DE APOYO</small>	 <small>MATERIAL DE APOYO</small>
OBJETIVOS	<small>MATERIAL DE APOYO</small> 	
METODOS	RESULTADOS	CONCLUSION
	<small>MATERIAL DE APOYO</small> 	
 <small>MATERIAL DE APOYO</small>	 <small>MATERIAL DE APOYO</small>	RECONOCIMIENTOS

Formato de un cartel vertical.

**Diplomado en Investigación. 1ª Generación.
Maestros del Instituto de Ingeniería y Tecnología, UACJ.
Sesión de carteles.**



