

# Cultura Científica y Tecnológica

Enero – Febrero, 2006. Año 3, Nº 12

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez



**CULCyT**



## Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Dr. Felipe Fornelli Lafón  
**Rector**

Quím. Héctor Reyes Leal  
**Secretario General**

Ing. Rafael Woo Chew  
**Director del IIT**

M.I. Gerardo Sandoval Montes  
**Coord. de Investigación del IIT**

### CULCyT

**Fundador y Director Editorial**

Dr. Victoriano Garza Almanza

**Subdirector Editorial**

MC Luis Felipe Fernández

### Comité Editorial

Dr. Mohammad Badii. UANL  
Dra. Lucy Mar Camacho. ITESM  
Dr. Pedro Cesar Cantú. UANL  
Dra. Perla Elvía García. UACJ  
Dr. Victoriano Garza. UACJ  
Dr. Cuauhtémoc Lemus. CIMAT  
Dr. José Mireles Jr. UACJ  
Dr. Jorge E. Rodas. ITESM  
Dr. Barry Thatcher. NMSU  
Dr. Hugo Vilchis. NMSU

### Columnas

Dr. Jorge E. Rodas O.  
**Coordinador**

MC Luis Felipe Fernández  
Dr. Victoriano Garza  
MC Gerardo Padilla

Ing. Leonardo Arroyo Ortega  
**Webmaster**

Portada: LFFM



*Oficina de Correos. Ciudad Juárez, Chihuahua. Foto: Betina.*

**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](mailto:vgarza@uacj.mx)

Los autores son responsables de sus textos.

Indexada en el **Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal: LATINDEX.** <http://www.latindex.unam.mx/>

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



LFFM

# CULCyT

## CONTENIDO

Enero – Febrero. 2006.

Año 3, N° 12

<b>CARTA DEL EDITOR</b>	
El proyecto y la carrera académica	3
<b>ECOLOGÍA DE COMUNIDADES</b>	
¿Cómo ensamblan las comunidades? Caso de pequeños mamífero	4
<b>MATRIZ SINGULAR</b>	
Diseño de bloques balanceados incompletos (bibd) a través de un enfoque matricial	19
<b>METODOLOGÍA DE SUPERFICIES</b>	
Metodología robusta para superficies de respuestas	32
<b>METODOLOGÍA</b>	
El proyecto de investigación	46
<b>POLÍTICA CIENTÍFICA EN MÉXICO</b>	
México necesita una revolución en ciencia: Mario Molina	50
Hay desinterés en la IP por el conocimiento científico	51
Es necesario revertir la centralización de la ciencia en México	52
Delinean política científica mexicana para un futuro mejor	53
<b>COLUMNAS</b>	
Publica o Perece	
Tanques pensantes	55
<b>CIENCIA EN LA NOTICIA</b>	
El ritmo de crecimiento de China puede ser fatal para el planeta	57
En auge la adicción a la Internet, el nuevo problema psiquiátrico	58
Compromiso <i>light</i> contra la contaminación	59
Admite médico noruego haber falseado información para revistas científicas	59
En los ensayos científicos perviven también miedo, envidia y rivalidad	60

# Carta del editor

## El Proyecto y la Carrera Académica

En México, para buena parte de los profesores universitarios, la preparación de un proyecto de investigación está rodeada de un halo alquímico y secretista donde, al parecer, sólo unos cuantos comparten el “know how”. Van y vienen generaciones de catedráticos y el círculo sigue sin romperse. Salen a especializarse y regresan con sus posgrados y, aún así, muchos de ellos no consiguen develar el “misterio”. Llegan sabiendo mucho de sus disciplinas, se jactan de conocer a los principales exponentes de ellas, manejan las técnicas más novedosas, etc., pero... no elucidaron la forma de establecer temas de estudio apropiados, ni a escribir propuestas de investigación a partir de ellos, ni a identificar quien les financie sus propósitos.

Este no es un problema único de México, aunque si está muy distribuido en las universidades públicas del país, sino que va más allá de nuestras fronteras. Hay autores, como Morris, Hume o Lucas, en Estados Unidos, que han dedicado obras completas al análisis de los impedimentos que en ellos mismos encuentran los académicos principiantes –y algunos maduros– para desarrollarse profesionalmente, y hallado que la elaboración de proyectos es una de sus debilidades.

Grosso modo, una de las razones por las cuales no todos los profesores que hacen sus posgrados aprenden a elaborar y ejecutar proyectos, es porque tradicionalmente no hay una educación formal dirigida a este asunto particular, y los que aprenden lo hacen o porque pudieron advertir como eran las estrategias de sus maestros, o porque lograron establecer una relación estrecha con su tutor, quien confiadamente les transmitió el “know how”.

Entonces, si la preparación de proyectos de investigación es clave en el desempeño de los catedráticos, sobre todo en las universidades que son más de investigación y menos de docencia, ¿qué hay que hacer? Algunas universidades están respondiendo a este reto de forma directa; esto es, habilitando a sus profesores con programas de entrenamiento que rinden beneficios medibles a corto y mediano plazo. Y, esto se reduce a lo que una vez sentenció el ecólogo Lin Tai Wao, de la universidad de Hunan: “si no hay proyecto, no hay trayecto”, pues de los proyectos emana todo el sentido de la carrera académica de investigación.

Victoriano Garza Almanza

## ¿Como se ensamblan las comunidades? Caso de pequeños mamíferos.

PhD. Mohammad H. Badii<sup>1</sup>, Dr. Victoriano Garza Almanza<sup>2</sup> y Biol. Silvia S. Zalapa<sup>3</sup>

### RESUMEN

Este texto inicia con una discusión sobre el origen de las reglas de ensamblaje. Se presentan los primeros trabajos sobre las reglas de ensamblaje en roedores y se discute si el tamaño del cuerpo determina la coexistencia de las especies. Se señala el origen de las controversias sobre el tema y también puntualiza los errores asociados con los modelos nulos. Se presenta el papel de los trabajos experimentales sobre este concepto y, como consecuencia, se explican las reglas de ensamblaje por gremios y también por considerar la disponibilidad de los recursos. Se discuten los mecanismos especulativos de las reglas de ensamblaje de gremios a lo largo del tiempo evolutivo e ecológico. Se marcan las reglas de ensamblaje en relación a otros tipos de animales, a parte de los roedores. Se menciona la continuidad de las controversias en el tema y se presenta la respectiva actual sobre este concepto. Finalmente, se visualiza el futuro del concepto de las reglas de ensamblaje.

### INTRODUCCIÓN

Las comunidades ecológicas no son simples ensambles al azar, sino que representan subconjuntos estructurados de la diversidad regional de especies (Diamond, 1975). Estos ensamblajes están determinados por los recursos disponibles y por la competencia entre las especies por dichos recursos (Hutchinson

1959, Grant 1968, MacArthur 1972, Cody 1974, Cody y Diamond 1975. Citados en: Bowers y Brown 1984).

### Origen de las reglas de ensamblaje

Jared Diamond, en su tratado *Assembly of Species Communities* (1975), fue le primero en explorar la idea de que hay reglas que gobiernan cómo las comunidades pueden ser ensambladas. Estas ideas culminaron en sus reglas de ensamblajes, las cuales predecían que especies de aves eran capaces de coexistir en islas en el archipiélago de Nueva Guinea, en términos de combinaciones permitidas y prohibidas. Una versión abreviada de su razonamiento se muestra en la Figura 1. La cual combina las curvas de utilización de cuatro especies de aves (línea punteada) con la disponibilidad de recursos (curva de producción de recursos, línea continua) en islas con diferente nivel de recursos. Restando las curvas individuales de utilización de recursos, de las curvas de producción de recursos, es posible obtener estimaciones de la distribución de los recursos restantes, permitiendo ver cual especie adicional podría sobrevivir y cuales requerimientos de la especie excedería el nivel de recurso disponible. En este sentido, Diamond fue capaz de predecir combinaciones de especies prohibidas y permitidas.

En este ejemplo se ilustran cuales combinaciones de las especies de un gremio pueden ser ensambladas en islas de diferentes tamaños (uno, dos o cuatro unidades de recursos). Diamond concluyó

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

<sup>3</sup> Universidad de Guadalajara

que uno debería esperar encontrar solo la especie 3 en islas pequeñas (una unidad de recurso); las especies 2 y 4 en islas medianas (dos unidades de recurso); y las

especies 1, 2 y 4 en islas grandes (cuatro unidades de recurso) (para una explicación completa ver Diamond 1975:425 en Cody y Diamond, 1975).

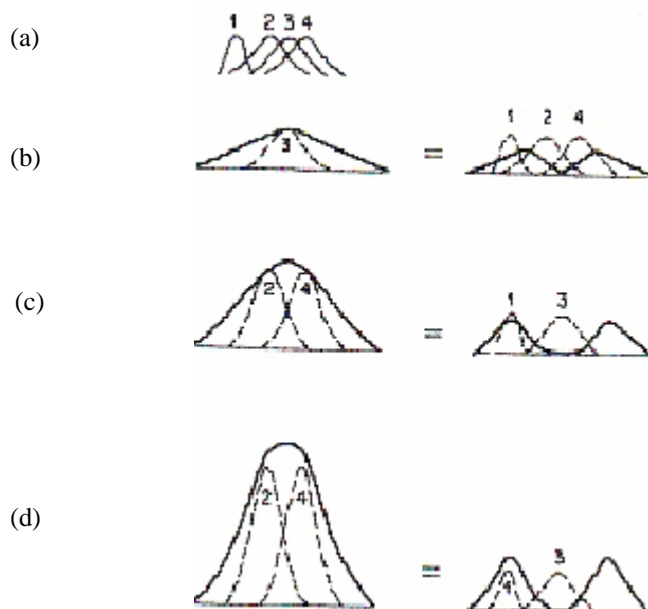


Figura 1. Curvas de utilización de recursos de cuatro especies 1, 2, 3, y 4 del mismo gremio (a), junto con las curvas de producción de recursos (línea continua), de los recursos usados por este gremio, en un grupo de islas de tamaño menor a mayor, las cuales producen: una unidad (b), dos unidades (c) y cuatro unidades de recursos (d). Al lado derecho de cada figura se muestra la curva de los recursos restantes, una vez que se restó las curvas de utilización de recursos de las especies en el lado izquierdo. En el lado derecho además de la curva del recurso restante se muestra que especie potencialmente puede aprovechar ese recurso (Tomado de Fox, 1999).

La más importante contribución a las ideas de Diamond fue la teoría de biogeografía de islas que MacArthur desarrolló con Wilson (1967. Citado en Fox 1999), pero también fue importante el concepto de la teoría de nicho y de la competencia interespecífica. Sin embargo, el papel de las reglas de ensamblaje enfocaron la controversia las siguientes dos décadas (Fox 1999).

## EL PRIMER TRABAJO CON ROEDORES

El siguiente paso en el desarrollo de las reglas de ensamblaje no se dio con la continuación en el estudio de aves, sino con un estudio que M'Closkey (1978) realizó con roedores granívoros en el desierto de Sonora. Él estudió la relación entre la separación de nicho y la diversidad local de cuatro especies de roedores. Para cuantificar las dimensiones del nicho, usó la distribución de tamaños de semillas encontradas en los abazones y

diferencias estructurales en la utilización del hábitat entre las especies. Registró cuatro especies de roedores heteromyidos, todos con amplia distribución en el desierto de

Sonora. De 13 parcelas de estudio, observó en tres de ellas solo una combinación de dos especies (*Dipodomys merriami* y *Perognatus penicillatus* ahora *Chaetodipus penicillatus*); hubo dos asociaciones de tres especies: la primera (*D. merriami*, *P. penicillatus* y *P. amplus*) que se registró en una parcela, y la segunda (*D. merriami*, *P. penicillatus* y *P. baileyi* ahora *Chaetodipus baileyi*) en cinco parcelas, y una combinación de las cuatro especies, que estuvieron presentes en cuatro parcelas. Las especies en las parcelas más diversas fueron en promedio más diferentes que aquellos ensamblajes de baja diversidad (parcelas con pocas especies). En las parcelas en las que co-ocurrieron *D. merriami* (especies grandes) y *P. penicillatus* (especie pequeña) fueron muy similares en su hábitat y en la utilización del tamaño de semillas. En las parcelas conteniendo a *D. merriami*, *P. penicillatus* y *P. amplus*, la separación en la dimensión del hábitat es menos importante y la principal fuente de diferencia interespecífica es debido al tamaño de semilla colectada. Sin embargo, en las otras parcelas de tres especies (*D. merriami*, *P. penicillatus* y *P. baileyi*) y de cuatro especies, ambos tamaños de semillas y hábitat son diferentes significativamente y la separación de nicho es mas grande. M'Closkey sugiere que la razón por la cual solo cuatro de 11 posibles combinaciones de roedores heteromyidos fueron observadas, es que diferentes localidades dentro del desierto varían en productividad, topografía y estructura de la vegetación, por lo que áreas del mismo tamaño deberían soportar diferente número de especies. Él conceptualizó el

ensamblaje de roedores heteromyidos como sigue: la ocurrencia de combinaciones específicas de roedores está limitada por los recursos (tamaño de semillas y estructura del hábitat) del medio local, las características del nicho de cada especie y sus patrones de separación de nicho.

En este trabajo M'Closkey demostró que sus ensamblajes observados fueron aquellos con mínima separación de nicho, lo cual maximizó la utilización de los recursos. Dos importantes puntos sobresalen del trabajo de M'Closkey: a) todos los ensamblajes observados tienen poca separación de nicho y b) los ensamblajes de baja diversidad son precursores de ensamblajes de alta diversidad. La contribución de M'Closkey (1985) fue un importante avance para explicar como la regla propuesta por Diamond puede trabajar.

## EL TRABAJO DE BOWERS Y BROWN

El tamaño del cuerpo determina la coexistencia de especies

Gracias a los estudios de roedores granívoros en desiertos, se ha contribuido a entender las interacciones específicas y estructura de comunidades, varios autores han llegado a la conclusión de que la coexistencia de especies es determinada en gran parte por la competencia interspecífica por recursos alimenticios limitados (Brown *et al.* 1979. Citado en: Bowers y Brown 1982). Bowers y Brown (1982) consideraron que quizás el patrón más notable está en la talla del cuerpo. Con una sencilla prueba, evaluaron la hipótesis nula de que las comunidades de roedores del desierto están compuestas de especies ensambladas al azar con respecto a la talla del cuerpo. Estudiaron la relación entre la talla del cuerpo y la coexistencia en dos niveles: entre hábitats

locales y entre áreas geográficas más grandes. Usaron un modelo simple de independencia estadística para obtener frecuencias estadísticas esperadas de co-ocurrencia de pares de especies, y probar si las desviaciones de estos valores observados de las frecuencias esperadas de co-ocurrencia son independientes de las proporciones de la talla del cuerpo entre las especies. Usaron datos (la mayoría de ellos publicados) del número de individuos por especie de roedores, de 95 localidades en tres desiertos de Norte América: Gran Cañón (33 localidades), Mojave (24) y Sonora (38). Encontraron que las especies de roedores granívoros de talla similar ocurrieron juntos significativamente menos que lo esperado por el azar, a escala local y geográfica. Esos patrones no al azar disminuyeron o se opacaron cuando especies de todos los gremios se combinaron en el mismo análisis. Sugieren que la relación

registrada entre la coexistencia local y la proporción de la talla del cuerpo en esos roedores granívoros podría ser más precisa que la sugerida por su análisis, ya que sus datos de frecuencia de ocurrencia estuvieron sujetos a errores de muestreo. Encontraron que solo 1 de 17 pares de especies granívoras, las cuales difirieron en talla a una proporción de < 1:5 coexistieron más frecuentemente que lo esperado, en uno de los tres desiertos (Tabla 1). Este par (*Dipodomys ordii* y *D. merriami* en el desierto de Mojave) fueron capturados juntos en solo un sitio. Este mismo par de especies coexistieron menos frecuentemente que lo esperado por el azar en los otros dos desiertos y en el análisis combinado (Tabla 1 y 2). Ni un solo par de especies granívoras, con una talla en proporción de < 1:5 coexistieron más frecuentemente que lo esperado por el azar en el análisis de los datos completos.

Tabla 1. Tabla de continencia 2 x 2 probando la hipótesis nula de que la coexistencia local de roedores granívoros y roedores de todos los gremios en tres desiertos es independiente de la proporción de talla del cuerpo. Tomado de Bowers y Brown 1982.

	Granívoros			Todos los gremios		
	Proporción talla del cuerpo	Asociación*		Proporción talla del cuerpo	Asociación	
		(-)	(+)		(-)	(+)
Gran Cañón	< 1:5	6	0	< 1:5	21	11
	> 1:5	15	15	> 1:5	54	30
		$Y^2 = 5.16$	$P = 0.003$		$Y^2 = 0.02$	$P = 0.870$
Mojave	< 1:5	3	1	< 1:5	18	9
	> 1:5	11	5	> 1:5	49	28
		$Y^2 = 0.05$	$P = 0.652$		$Y^2 = 0.08$	$P = 0.826$
Sonora	< 1:5	7	0	< 1:5	26	15
	> 1:5	23	15	> 1:5	62	30
		$Y^2 = 4.5$	$P = 0.047$		$Y^2 = 0.020$	$P = 0.677$

\* Las asociaciones fueron registradas como positivas (+) o negativas (-) dependiendo de si las frecuencias observadas de coexistencia fueron mayor o menor que lo esperado por el azar.

Al igual que Brown (1973), este trabajo se basó en el análisis de una talla de cuerpo arbitraria de 1:5, este valor fue elegido por considerarse conservador. Usando criterios objetivos, para seleccionar la comunidad más grande de especies, registrada más frecuentemente

en cada uno de los tres desiertos, los patrones de talla del cuerpo fueron sorprendentemente similares, aunque la identidad de esas especies fuera a veces diferente, cada desierto soporta una comunidad de cuatro especies que exhiben remarcadamente una distribución



similar de talla del cuerpo. En cada comunidad la masa del cuerpo varió de aproximadamente 7 a 100 g y la proporción mínima excedió 1:75.

La distribución geográfica de roedores granívoros del desierto, también se trasladó no al azar con respecto a la talla del cuerpo (Tabla 2). Pares de especies con proporción de tallas <1:5 tendieron a estar asociados negativamente

resultando en un fuerte rechazo de la hipótesis nula ( $P < 0.01$ ). Sin embargo cuando especies de los gremios herbívoro, insectívoro y omnívoro fueron combinados con los granívoros en el mismo análisis, los patrones presentes en los granívoros fueron totalmente opacados (Tabla 2) y la hipótesis nula no fue rechazada ( $P=0.23$ ).

Tabla 2. Tabla de continencia 2 x 2 probando la hipótesis nula de que la coexistencia local y traslape geográfico de roedores granívoros y roedores de todos los gremios son independientes de la talla del cuerpo en los tres desiertos combinados (Tomado de Bowers y Brown 1982).

	Proporción talla del cuerpo	Granívoros		Proporción talla del cuerpo	Todos los gremios	
		Asociación*			Asociación	
		(-)	(+)		(-)	(+)
Traslape geográfico	< 1:5	44	13	< 1:5	65	53
	> 1:5	72	60	> 1:5	162	176
		$Y^2 = 8.60$	$P = 0.010$		$Y^2 = 1.64$	$P = 0.231$
Coexistencia Local	< 1:5	27	0	< 1:5	93	15
	> 1:5	65	28	> 1:5	274	98
		$Y^2 = 10.6$	$P = 0.008$		$Y^2 = 5.55$	$P = 0.053$

\* Las asociaciones fueron registradas como positivas (+) o negativas (-) dependiendo de si las frecuencias observadas de coexistencia fueron mayor o menor que lo esperado por el azar.

Aunque sus resultados no demuestran que esas comunidades están estructuradas por la competencia interespecífica, los patrones encontrados son totalmente consistentes con esa explicación. Además, estos resultados corroboran numerosos estudios recientes que sugieren que la competencia interespecífica juega un papel mayor en determinar la estructura de comunidades de roedores granívoros en desiertos.

#### INICIO DE LA CONTROVERSIA.

La controversia surgió con la publicación de la crítica realizada por Connor y Simberloff (1979), cuestionando la importancia central de la competencia interespecífica, afirmaron que los patrones observados podrían ser igualmente atribuidos a eventos al azar. Esta controversia continuo por varias

décadas, y aunque en diferentes ocasiones el enfoque había sido sobre las diferentes metodologías y argumentos estadísticos, en ultima instancia esta giraba alrededor de si los patrones observados eran el resultado de procesos determinísticos o estocásticos. Un aspecto positivo de esa controversia fue la introducción de los modelos nulos (Connor y Simberloff, 1979). Este fue un paso importante que permitió la aceptación general de la necesidad de demostrar, concluyentemente, usando pruebas estadísticas apropiadas, que los patrones observados fueron significativamente diferentes de lo que puede ser esperado por el azar. Las pruebas de azar y la simulación de Monte Carlo han venido añadiendo componentes importantes y necesarios de muchos estudios ecológicos a más

campos que solo el de reglas de ensamblaje.

Errores en modelos nulos.

Sin embargo ha habido avances útiles que han permitido mejores pruebas y pensamientos mas enfocados (Strong *et al* 1984, Diamond y Case, 1986. Citado en: Fox 1999). Colwell y Winkler (1984. Citados en: Fox 1999), usaron programas de simulación por computadora para establecer argumentos jerárquicos artificiales de agrupamiento de especies que específicamente incluyen o excluyen interacciones de competencia interespecífica. Los subgrupos de especies de éstos, fueron sorteados para representar comunidades en islas imaginarias, en archipiélagos imaginarios, cada uno con tratamientos diseñados explícitamente. Estas comunidades fueron probadas contra las hipótesis nulas, las cuales identificaron tres efectos que pueden confundir estudios de reglas de ensamblaje: a) el efecto Narciso (muestra del banco de especies post-competencia, subestima el rol de la competencia, sin embargo su efecto esta ya reflejado en el banco de especies (pool)); b) el efecto Ícaro (correlación entre capacidad de dispersión (vagility) y morfología, que puede oscurecer el efecto de competencia en comparaciones morfológicas de biotas en islas y continentes); y c) el efecto J.P. Morgan (la debilidad de limitaciones taxonómicas en la muestra, la dificultad para detectar la competencia). Los autores también enfatizan la necesidad de considerar los errores Tipo I y Tipo II cuando seleccionen las hipótesis nulas apropiadas. Grant y Abbott (1980. Citado en: Fox 1999) atrajeron la atención a lo peligroso de estos problemas pero fue el estudio de Colwell y Winkler (1984. Citado en Fox 1999) que

concluyentemente demostró el impacto que estos efectos pueden tener.

La contribución de trabajos experimentales

Gilpin, Carpenter y Pomerantz (1986. Citados en: Fox 1999) realizaron un trabajo experimental que tuvo un marcado impacto. Demostraron en laboratorio que las interacciones competitivas entre especies de *Drosophila* jugaron un rol muy importante en determinar cual especie fue capaz de formar comunidades viables. Usaron 28 especies y encontraron que de las 378 posibles combinaciones de pares, solo 46 (12%) fueron capaces de coexistir. Entonces excluyeron a los competidores más fuertes y más débiles y usaron diez especies de los competidores intermedios en un grupo adicional de 30 pruebas, cada una de estas diez especies introducida simultáneamente, pero con diferente frecuencia inicial. Después de 35 semanas encontraron que los sistemas de diez especies se habían relajado a sistemas más pequeños: tres especies en 7 pruebas, dos especies en 21 pruebas y una especie en 2 pruebas, nunca se encontraron más de tres especies coexistiendo. De diez especies, hay 45 posibles combinaciones de pares de especies, pero solo tres de estas fueron encontradas coexistiendo en 21 pruebas, 18 de las pruebas finalizaron con el mismo par de especies. De los 120 posibles tríos de las 10 especies, solo tres fueron observados. Los resultados de estos experimentos proveen un fuerte soporte para las reglas de ensamblaje observadas, similares a aquellas propuestas para aves por Diamond (1975) las que estuvieron también operando para formar las comunidades de *Drosophila*.

## TRABAJOS DE B. J. FOX.

Uno de los principales autores que ha contribuido al entendimiento del ensamblaje de comunidades de roedores es B. J. Fox. Él estudio las comunidades de mamíferos pequeños en Myall Lakes National Park, Australia (1980, 1981. Citado en: Fox 1999). Fue influenciado por el trabajo de Diamond (1975) y M'Closkey (1987), consideró el ensamble de pequeños mamíferos que coexistieron en hábitats parche, investigando la relación entre los parámetros de nichos y riqueza de especies. Usó la simulación de Monte Carlo, para demostrar que el valor del traslape de nicho decreció cuando incremento la riqueza de especies, significativamente más que lo esperado por el azar. También se demostró que el valor de separación de nicho incremento a una mayor taza que la esperada por el azar cuando incremento la riqueza de especies. Sin embargo, pruebas con apropiadas hipótesis nulas, excluyendo interacciones entre especies, claramente demuestran que el valor de la amplitud del nicho decrece cuando incrementa la riqueza de especies, como ha sido observado en campo. Estos resultados fueron importantes cuando tal disminución en la amplitud de nicho fue asumida como resultado de competencia interespecífica.

### Regla de ensamblaje por gremio.

El trabajo de M'Closkey (1987) fue fundamental para el trabajo de Fox, porque proveyó una demostración elegante de los mecanismos que estructuran sus roedores del desierto, determinando como ellos fueron ensamblados con una mínima separación de nicho. Sin embargo, la cantidad de información que tenía que obtenerse para cada especie hizo a esto una tarea

desalentadora, lo que permitió que fuera considerada la propuesta de una regla más simple, en la cual se usara el termino "grupo funcional" que abarcara a especies del mismo género, de grupos taxonómicos relacionados o del mismo gremio. Fox, fue particularmente influenciado por las observaciones de M'Closkey, de que las especies invaden ensamblajes imaginarios debido a la gran separaciones de nicho, y sus sugerencias de que los ensamblajes con recursos sin usar eran vulnerables. Estos puntos de vista fueron fundamentales para que Fox (1987. Citado en: Fox 1999) desarrollar una nueva regla "regla de ensamblaje por gremio". Ésta fue concebida como una regla basada en la suposición de igualdad de recursos, la cual especifica el grupo funcional del cual una especie debería provenir, mas que identificar a una especie en particular en un ensamblaje. Para su ensamblaje de mamíferos Australianos, la regla predice que: hay mayor probabilidad de que cada especie que entra a una comunidad pertenecerá a diferente género (u otro grupo taxonómicamente relacionado de especies con dietas similares) hasta que cada grupo es representado, antes de que la regla se repita. Solo se requirió de un conocimiento a priori de cómo las especies del banco disponible están divididas en grupos funcionales o taxonómicos (Fox, 1989). Los ensamblajes para los cuales la regla fue permitida fueron denominados "estados favorecidos", aquellos para los cuales la regla no fue permitida fueron denominados "estados desfavorecidos". a) "Estados favorecidos" son aquellos en los cuales las diferencias entre el número de especies de cada grupo funcional nunca son más de uno; y b) "estados desfavorecidos" son aquellos con una diferencia de más de uno entre el número de especies de cada grupo funcional.

Posteriormente, Fox y Brown (1993) probaron la existencia de esta regla de ensamblaje basada en grupos funcionales, usando los mismos datos de roedores de trabajos anteriores en desiertos de Norte América. Analizaron un grupo de datos de ensamblajes en un área de Nevada y otro grupo de datos de un área que comprende la mayor parte de la región desértica del suroeste de Norte América (desiertos de Chihuahua, Sonora, Mojave y Gran Cañón). Evaluaron: 1) la operación de la regla entre las especies del gremio de los granívoros; 2) la operación de la regla para grupos funcionales en y entre diferentes gremios; y 3) la operación de la regla en diferente escala espacial. Los datos de Nevada comprendieron 115 sitios de muestreo, en los cuales los grupos funcionales fueron definidos de dos formas. En la primera consideraron solo el gremio de especies principalmente granívoros con 11 especies, las cuales dividieron en tres grupos funcionales: 3 heteromyidos bipedos (HB); 3 heteromyidos cuadrúpedos (HC); y 5 cuadrúpedos no heteromyidos (NC). En la segunda se incorporaron las 14 especies de roedores capturados, agrupados en cinco grupos funcionales: los mismos tres grupos de granívoros, más dos adicionales representando otros gremios de forrajeros: 2 folívoros (F), y 1 insectívoro (I). En los datos del suroeste, el banco de especies comprende 28, que fueron capturadas en 202 sitios: 11 heteromyidos cuadrúpedos (Q); 7 heteromyidos bípedos (B); 10 cricétidos (C). Para ambos grupos de datos probaron la predicción de la regla de ensamblaje, de que las comunidades locales estarán representadas por más “estados favorecidos” y menos “estados desfavorecidos”, contra la hipótesis nula de que los “estados favorecidos” y “estados desfavorecidos” están

representados como es esperado si las especies estuvieran ensambladas al azar del banco de especies disponibles. Usaron la simulación de Monte Carlo para generar frecuencias de distribución de estados esperados bajo la hipótesis nula. Los “estados desfavorecidos” fueron identificados como aquellos ensamblajes para los cuales la diferencia entre el número de especies en cualquiera de dos grupos funcionales excede de uno. Por ejemplo: “estados desfavorecidos” (0,1,2), (1,2,3) y (2,0,2) y “estados favorecidos” (0,1,1), (1,2,2) y (2,1,2). Todas las pruebas de simulación de las reglas de ensamblaje claramente rechazaron la hipótesis nula, con altos niveles de significancia estadística. Demostraron la robustez de la regla, pero también consideran que ésta puede ser sensible a la clasificación de las especies a grupos funcionales. Concluyeron que la regla de ensamblaje caracterizó la estructura de la comunidad de roedores granívoros del desierto del suroeste de Norte América. Encontraron evidencia inequívoca de la validez de la regla en los dos grupos de datos: Nevada y Suroeste, ya que hay una alta probabilidad de que cada especie que entre a una comunidad provenga de un grupo funcional diferente hasta que cada grupo sea representado, y entonces la regla se repita. También confirmaron la predicción de que en comunidades ricas en especies la regla debería operar tanto dentro como entre gremios simultáneamente. Así como la aplicación de esta regla a una escala local (Nevada 3500 m<sup>2</sup>), como a una escala geográfica más grande (desiertos del suroeste de Norte América 640000 km<sup>2</sup>). Sugieren que el mecanismo detrás de esta regla es la competencia interspecífica, la cual opera afectando la probabilidad de que especies en diferentes grupos funcionales difieran suficientemente en la

utilización de los recursos, tanto como sea posible para coexistir.

Ejemplo considerando la disponibilidad de recurso.

Debido a que el efecto de la disponibilidad de recurso desigual también ha sido considerado (Fox, 1987. Citado en: Fox 1999), se realizó un ejemplo con los datos de Nevada analizados por Fox y Brown (1993), para investigar este efecto y enfatizar el camino en el cual la regla de ensamblaje por gremio se relaciona con la disponibilidad de recursos. En este ejemplo los tipos de recurso son: artrópodos (insectívoros), semillas (granívoros) y plantas (herbívoros), pero los recursos no están uniformemente distribuidos entre los tipos de recursos. La distribución del recurso disponible es substancialmente favorecida hacia las semillas. Se muestran cuatro ejemplos simples de ensamblaje de comunidades: dos son “estados favorecidos”; el primero tuvo cinco unidades de recurso con una especie insectívora (I1), una especie herbívora (H1) y tres especies granívoras (G1, G2, G3), (Fig. 2 (a)). El segundo ejemplo muestra doble disponibilidad de recurso (diez unidades), suficiente para dos ciclos de ensamblajes completos, dos especies insectívoras, dos especies herbívoras y seis especies granívoras (Fig. 2 (b)), cada recurso usado por la especie, tiene la misma área, dos veces mas alto pero el mismo ancho de la figura 2 (a), con una implicación de mayor especialización. Y dos ejemplos de “estados desfavorecidos”; el primero también tiene 10 unidades de recurso suficiente para un total de diez especies (Fig. 2 (c)), distribuido como dos unidades de artrópodos, dos unidades de plantas y seis unidades de semillas (igual que en la Fig. 2 (b)), pero en este caso

hay dos especies de insectívoros, cuatro especies de herbívoros, y cuatro especies de granívoros, mostrado por las diferentes etiquetas. Como debería ser suficiente el recurso de las semillas para seis especies de granívoros (como en la Fig. 2(b)), la comunidad será vulnerable a la invasión por especies de granívoros. Además, hay cuatro especies de herbívoros presentes, pero con suficiente recurso solo para dos, lo cual debería originar competencia interespecífica entre los herbívoros. El segundo “estado desfavorable” tiene siete unidades de recurso disponible, suficiente para siete especies, pero distribuido como una y media unidades de recurso para los artrópodos y para las plantas, con cuatro unidades de semillas (Fig. 2(d)). Sin embargo las especies que ocupan las siete unidades son cinco granívoros, dos insectívoros pero no herbívoros (Fig. 2(d)). Así que el recurso vegetal es subutilizado, por lo que la comunidad debería de estar sujeta a la invasión por especies herbívoras, como ambos insectívoros y granívoros se exceden de su recurso disponible, otra vez se intensifica la competencia interespecífica.

La existencia de comunidades como las descritas en la Figura 2, y el comportamiento demostrado con el incremento de la riqueza de especies, ayudo a inspirar un modelo gráfico de ensamblaje de mamíferos y evolución (Fox, 1987, 1989). El modelo original fue concebido de observaciones en comunidades australianas incluyendo marsupiales dasiuridos e insectívoros (Fox, 1987. Citado en Fox 1999). Una adaptación de este modelo se muestra en la Figura 3, refiriéndonos específicamente al caso de los granívoros de las comunidades de roedores desérticos de Nevada (Fox y Brown, 1993).

En este ejemplo, las especies granívoras (hetrómidos y cricétidos) deberían tener las mismas ventajas en

términos de digestibilidad fisiológica, morfología intestinal y morfología dentaria, que les permitiera el uso eficiente de semillas en sus dietas, en el mismo sentido que ellos deberían estar limitados para ser capaces de obtener suficientes beneficios de alimentarse de material vegetal, sin la habilidad para

obtener energía de digerir celulosa. Los diferentes comportamientos de forrajeo mostrados por estos gremios resultan en la repartición efectiva del hábitat, seleccionando matorrales y hábitats abiertos diferencialmente, aunque estos hábitats están íntimamente mezclados en desiertos del suroeste.

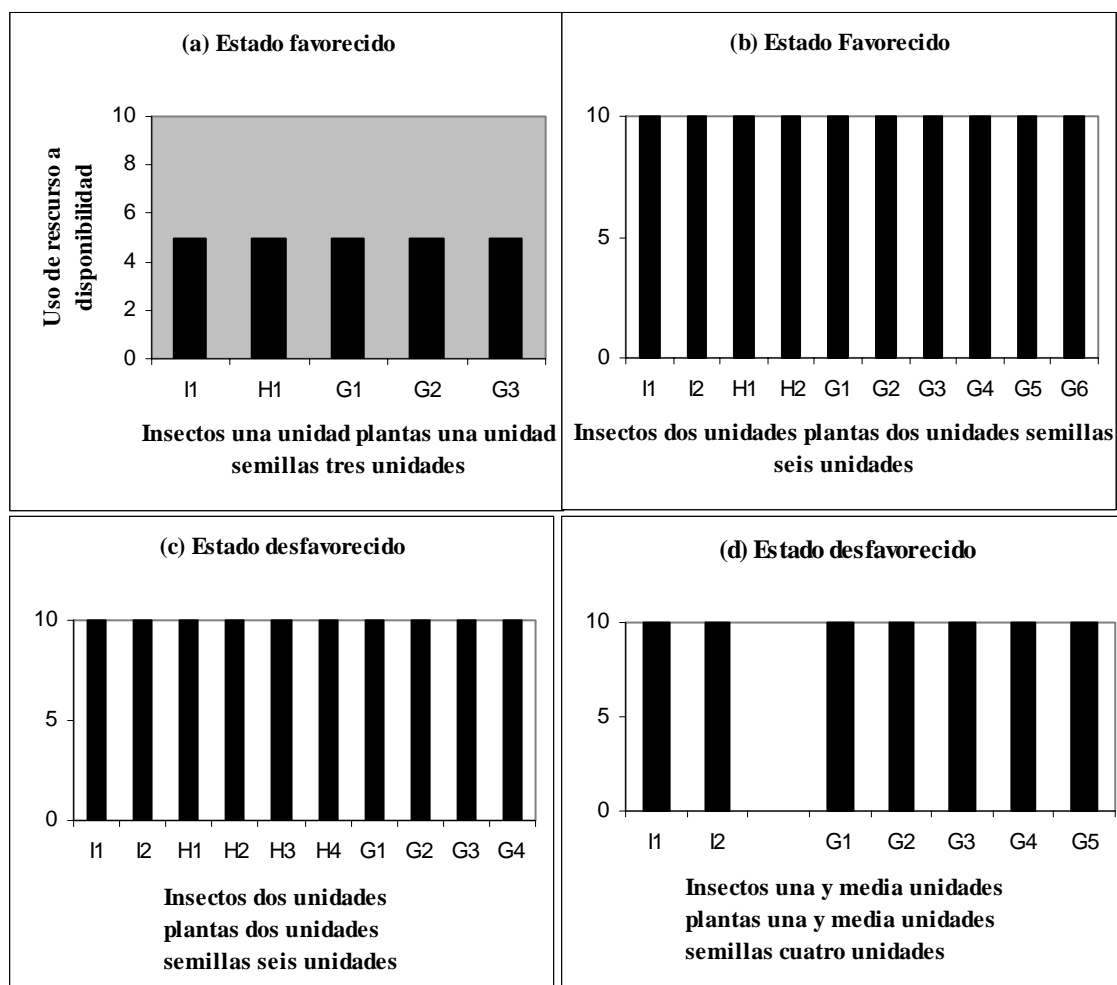


Figura 2. Una ilustración de estados favorecidos y desfavorecidos y el efecto del recurso no proporcionado. a) Estado favorecido. Cinco unidades de recurso disponible (un artrópodo, una planta y tres semillas), con cinco especies: un insectívoro (I1), un herbívoro (H1) y tres granívoros (G1, G2, G3). b) Estado favorecido. Diez unidades de recurso disponible (dos artrópodos, dos planta y seis semillas), con diez especies: dos insectívoros (I1, I2), dos herbívoro (H1, H2) y seis granívoros (G1, G2, G3, G4, G5, G6). c) Estado desfavorecido. Diez unidades de recurso disponible (dos artrópodo, dos planta y seis semillas), con diez especies: dos insectívoros (I1, I2), cuatro herbívoro (H1, H2, H3, H4) y cuatro granívoros (G1, G2, G3, G4). d) Estado desfavorecido. Siete unidades de recurso disponible (uno y medio artrópodo, uno y medio plantas y cuatro semillas), con siete especies: dos insectívoros (I1, I2), ningún herbívoro y cinco granívoros (G1, G2, G3, G4, G5) (Fox 1999).

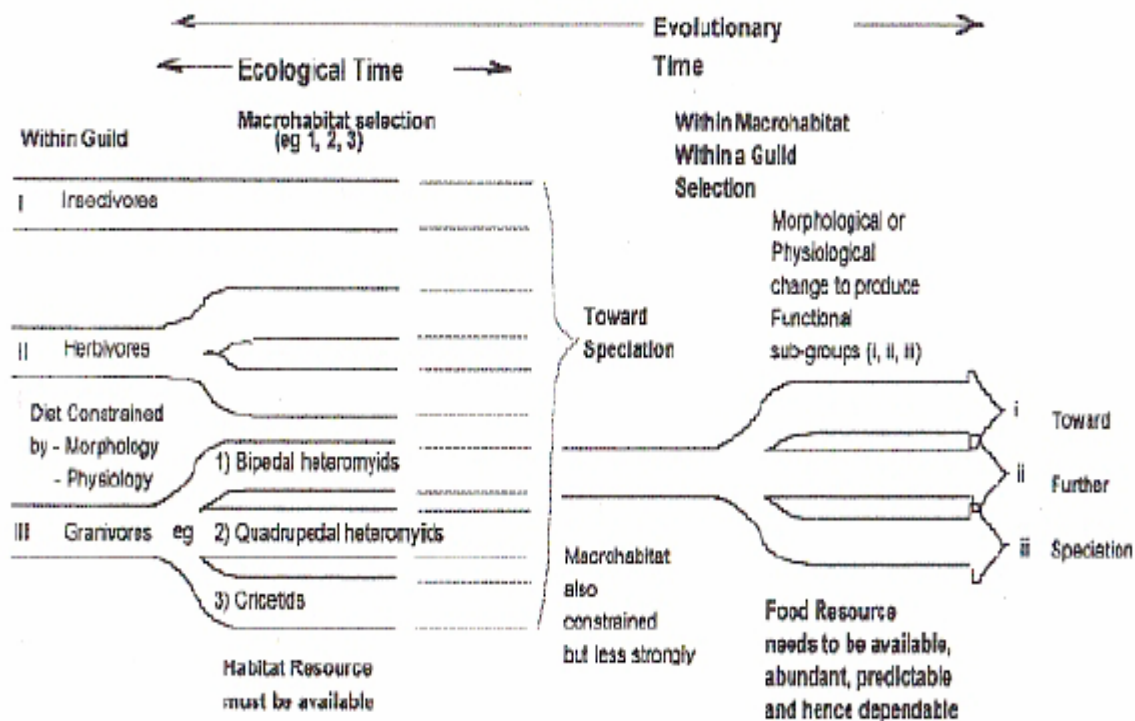


Figura 3. Un modelo que especula la posible operación de un mecanismo de la regla de ensamblaje de gremio, basado en ensamblajes Australianos, aplicado a un grupo de datos de Nevada (Fox, 1999).

Un ejemplo dentro de la evolución de este gremio es ilustrado con la rata canguro (*Dipodomys microps*) del Gran Cañón, que ha evolucionado adaptaciones para comer hojas (Kenagy, 1973. Citado en Fox 1999). Este es un ejemplo extremo, del cambio de gremio de *Dipodomys microps*, de granívoro al gremio folívoro, lo que demuestra como a escalas de tiempo evolutivas es posible producir cambios morfológicos y fisiológicos, permitiendo futuras reparticiones de recursos alimenticios, lo cual puede aún en algunos casos producir futuras especiaciones (Fig., 3). Claramente, para que cada especialización ocurra el recurso alimenticio necesita ser abundante, predecible y así fiable. En este sentido la cantidad de recursos disponible afectará

directamente el número de grupos, subgrupos y especies formando el banco de especies disponibles y el número y el tipo de especies capaces de coexistir en algún lugar, en el sentido descrito por ensamblajes favorecidos contra ensamblajes desfavorecidos.

#### TRABAJOS CON OTRAS ESPECIES

Fox y Kirkland (1992), demostraron que la regla de ensamblaje originada en una región zoogeográfica pudo ser aplicada exitosamente en otra y considerando un solo gremio trófico. Usaron datos de seis especies de musarañas herbívoras, de 43 localidades de Nueva Inglaterra. Las musarañas fueron divididas en tres gremios basados en el tamaño del cuerpo. Usaron la

simulación de Monte Carlo (modelo neutral) para generar frecuencias esperadas y compararlas con las observadas. Observaron 12 ensamblajes de “estados desfavorecidos” contra 20.79 esperados y 31 ensamblajes de “estados favorecidos” contra 22.22 esperados ( $P = 0.02$ ). La hipótesis nula de que la comunidad de musarañas estaba estructurada al azar fue claramente rechazada, ya que hubo significativamente menos ensamblajes de “estados desfavorecidos y significativamente más de “estados favorecidos que los esperados según el modelo neutral. Consideraron que el tamaño del cuerpo puede ser el factor que estructura la comunidad de musarañas, ya que las especies grandes tienen una ventaja competitiva sobre las especies pequeñas en la selección del recurso alimenticio. Cambios en el comportamiento de forrajeo, como por ejemplo la concentración en microhábitats con mejor calidad de recursos, y la exclusión de las especies competidoras más pequeñas, podría ser un proceso que explicara los patrones observados. En tal caso el tamaño del cuerpo es una clave fácil para reconocer la habilidad competitivas de especies, y que éste puede ser el factor que fuerce la selección de diferentes microambientes de forrajeo para la repartición del recurso alimenticio disponible.

Ganzhorn (1997. Citado en: Fox 1999), recientemente demostró que la comunidad de lemures arborícolas de bosques lluviosos siempre verdes y bosques secos en Madagascar, obedecen a la regla de ensamblaje por gremio. Usó 10 000 simulaciones de Monte Carlo como modelo neutral ( $P = 0.001$ ). Una comunidad con un banco de 20 especies (6 folívoros, 8 frugívoros y 6 omnívoros) fue ensamblada con grupos de especies de 3 a 13, indicando que la regla había operado a través de cuatro y en algunos

casos cinco ciclos de adición de especies. El alto grado de concordancia con la regla fue muy impresionante, comparado con otras áreas biogeográficas y grupos taxonómicos que tienen generalmente ensamblajes a través de dos o en algunos casos tres ciclos de adición de especies como máximo. La concordancia con el bosque fue menos buena, aunque altamente significativa ( $P = 0.029$ ) y esto fue atribuido a recientes cambios naturales y antropogénicos, en los 2000 años de ocupación humana, lo que ha sido muy aparente en bosques secos, pero no en bosques lluviosos siempre verdes sin disturbio.

## LA CONTROVERSIA CONTINÚA

Wilson (1995a) cuestionó los métodos usados por Fox y Brown (1993) para analizar los datos de Nevada, afirmando que ellos deberían dar resultados significativos con datos aleatorizados. Se realizó (Fox y Brown, 1995) una replica a la crítica de Wilson (1995a), la cual reafirma la validez de la regla de ensamblaje por gremio y los métodos usados en el análisis. Sin embargo Wilson (1995b. Citado en: Fox 1999) escribió una segunda crítica afirmando que los datos aleatorizados usados por Fox y Brown (1995) no fueron realmente aleatorios. Nuevamente Fox (1999) realizó comentarios a esta nueva crítica. En ella reconoce que el método usado por Fox y Brown (1995) para generar el grupo de datos aleatorizados fue defectuoso y realizó un nuevo análisis corrigiendo esto. Llega a la conclusión de que hay poca diferencia cualitativa a la reportada por Fox y Brown (1995). Así que, si bien Wilson (1995b. Citado en Fox 1999) correctamente identifico un defecto en la construcción del grupo de datos aleatorizados usado por Fox y Brown (1995), después de reanalizar los



datos con la correcta generación, se demostró claramente que aun los datos al azar producen relativamente mayores probabilidades de distribución usando las mismas hipótesis nulas de Fox y Brown (1995), y que se pueden generar sesgos al usar bancos de especies extremos.

Otros autores como Stone, Dayan y Simberloff (1996), reanalizaron el grupo de datos examinados por Fox y Brown (1993), concluyendo que su análisis había fallado para encontrar evidencia de competencia interespecífica o reglas de ensamblaje determinísticas, en la formación de una comunidad local. La distribución de estados favorecidos estuvieron influenciados por un número pequeño de especies de amplia distribución; las restantes especies raras podrían ser vistas como “ruidos” superimpuestos. La única estructura posible, notada en su estudio la atribuye a tres o cuatro especies de amplia distribución, sugieren que un estudio de solo distribución espacial provee poca evidencia de competencia entre esas especies. Finalmente comentan que su análisis de reglas de ensamblaje de especies y composición de comunidades locales no es el fin de la historia de esas comunidades de mamíferos pequeños, debido a que estudios ecológicos experimentales y de campo (ver Brown 1987, Kotler y Brown 1988. Citados en: Fox 1999) fuertemente implican el rol de competencia interespecífica entre roedores granívoros del desierto, y que parece posible que tales procesos puedan ser mejor detectados con técnicas estadísticas más discriminantes. Fox (1999) también realizó comentarios a estos resultados. Menciona que la metodología usada por Stone *et al.* (1996) incorpora el efecto Narciso, tal como el autor lo reconoce en parte. Y que el hecho de que algunas especies sean de amplia distribución, así como otras de

distribución más restringida, no pueden ser separadas de las habilidades competitivas relativas de esas especies. Las habilidades competitivas de las especies, pueden o no pueden haber influenciado su distribución, así que el uso de esta información de distribución, puede aun tener el potencial para introducir efectos competitivos dentro de su modelo nulo.

## PERSPECTIVA ACTUAL

Aunque actualmente algunos autores como Gotelli y McCable (2002), reconocen varios tipos de reglas de ensamblaje, entre ellas: la regla de ensamblaje de la proporción constante de tamaño del cuerpo, de Dayan y Simberloff (1994); la de estados favorecidos o de gremio, de Fox y Brown (1993); la de proporcionalidad de gremio, de Wilson (1989); la de anidación de especies, de Petterson y Atmar (1986. Citado en: Gotelli y McCable 2002) y “traitenvironment associations”, de Keddy y Weiher (1999); el modelo original de Diamond (1975), sigue siendo el modelo de mayor influencia para las reglas de ensamblaje de comunidades.

## EL FUTURO DE LAS REGLAS DE ENSAMBLAJE

El punto que se debe enfatizar, es que las reglas de ensamblaje tienen componentes determinísticos y estocásticos, como fue mencionado por Fox y Brown (1993). Y reemplazar el termino “estado favorecido y “estado desfavorecido” por términos como “alta probabilidad” y “baja probabilidad” para reforzar este punto. El mensaje es que todos los estados son posible, pero algunos tienen mayor probabilidad de ocurrir que otros, lo que parece representar de una mejor forma la

realidad de la operación de los procesos, en escalas espaciales y temporales. Otro punto que tiene que ser enfatizado en la regla de ensamblaje por gremio es la importancia de los procesos. Ésta regla basada empíricamente, se desarrollo en un intento por entender el mecanismo que operan en el ensamblaje de comunidades. La regla de ensamblaje por gremio ha proveído una herramienta poderosa para ayudar a este entendimiento, particularmente en relación al proceso de competencia

consumidor-recurso. Una de las ventajas de la regla ha sido su simplicidad, todo lo que se requiere conocer es qué especie pertenece a qué grupo funcional o gremio, la distribución de la riqueza de especies a través del sitio y el banco de especies apropiado para cada gremio. Una de las desventajas, es que no son identificadas en la comunidad las especies en particular, pero este es el costo de no requerir información detallada de cada especie. Un aspecto que debe enfatizarse: es el principio de repartición de recursos, que está implícito (Morris y Knight 1996).

Kelt dio a conocer un desarrollo muy interesante para la regla de ensamblaje por gremio (Kelt y Brown 1999: Citado en Fox 1999; Kelt *et al* 1995), introduciendo hipótesis alternativas específicas para las hipótesis nulas, para hacer una estimación del poder de la prueba estadística. Esta fue una prueba muy elegante del grado al cual la competencia interespecífica fue incluida como un mecanismo en la operación de la regla. Una poderosa extensión de este análisis se consigue incorporando el hábitat y creando bancos de especies separados para cada sitio. Morris y Knight (1996) demostraron que la regla de ensamblaje por gremio de Fox, es una consecuencia probabilística de adicionar la estructura de gremio a

modelos de competencia consumidor-recurso, proveyendo así de las bases teóricas necesarias que habían sido olvidadas para esta regla.

El desarrollo mas reciente ha incluido una aplicación de la técnica de regresión Schoener-Pimm, que ha sido recientemente retomada por Fox y Luo (1996. Citado en Fox 1999), usando datos estandarizados. Cuando se aplicó a la comunidad de Nevada, que ya ha demostrado su adherencia a la regla de ensamblaje de Fox, seis coeficientes de interacción (de 12 posibles) significativa, encontrada entre pares de especies dentro de un gremio fueron negativos. Y para pares de especies entre gremios, 18 coeficientes de interacción (de 78 posibles) fueron positivos. Estos interesantes resultados soportan la interacción interespecífica como un parte del mecanismo para la regla de ensamblaje por gremio, y provee importante confirmación en campo de las derivaciones teóricas hechas por Morris y Knight (1996). El desarrollo futuro de la regla de ensamblaje por gremio sugiere se consideren tres aspectos: a) usar hipótesis alternativas específicas como pruebas activas de mecanismos que puedan estructurar las comunidades; b) el uso de datos del hábitat y densidades de especies con técnicas de regresión estandarizadas, para demostrar efectos de interacción; e c) incorporar información detallada de cada especie.

## REFERENCIAS

- Brown, J. H: y G. A. Lieberman. 1973. Resource utilization and coexistence of seed-eating desert rodents in sand dune habitats. *Ecology* 54(4):788-797.
- Bowers, M. A. y J. H. Brown. 1982. Body size and coexistence in desert rodents:

chance or community structure. *Ecology* 63:391-400.

Cody, M. L. y J. M. Diamond, editors. 1975. *Ecology and evolution of communities*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Connor, E. H. y D. Simberloff. 1979. The assembly of species communities: chance or competition?. *Ecology* 60:1132-1140.

Dayan, T. and D. Simberloff. 1994. Morphological relationships among coexisting heteromyids: an incisive dental character. *American Naturalist* 143:462-477.

Diamond, J. D. 1975. Assembly of species communities. Pp. 342-444. In M. L. Cody and J. M. Diamond, eds. *Ecology and evolution of communities*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Fox, B. J. 1981. Niche parameters and species richness. *Ecology* 62(6):1415-1425.

Fox, B. J. 1989. Small mammal community patterns in Australian

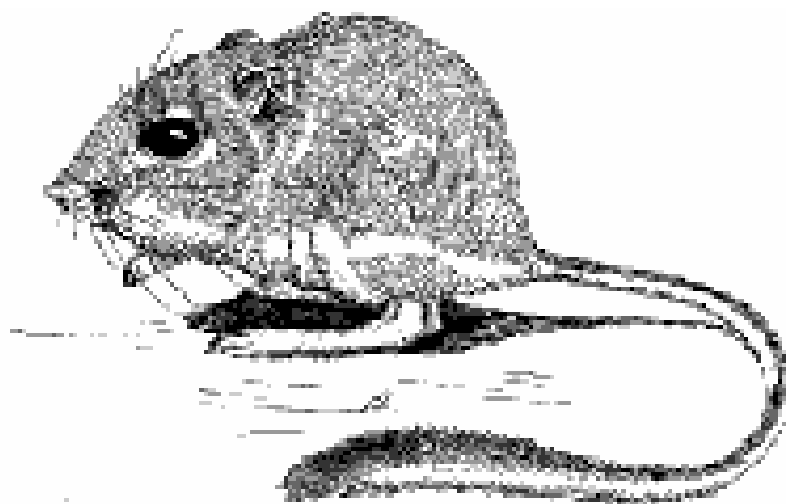
Heathland: a taxonomic rule for species assembly. In *Patterns in the Structure of Mammalian Communities* ed. D. W. Morris, Z. Abramsky, B. J. Fox & M. R. Willing. pp. 91-103. Lubbock, TX: Texas Tech Museum Special Publication Series.

Fox, B. J. 1999. The genesis and development of guild assembly rules. Pp. 23-57. In E. Weiher and P. Keddy, eds. *Ecological Assembly Rules. Perspectives, advances, retreats*. Cambridge University Press. United Kingdom.

Fox, B. J. y J. H. Brown, 1993. Assembly rules for functional groups in North American desert rodent communities. *Oikos* 67:358-370.

Fox, B. J. y J. H. Brown, 1995. Reaffirming the validity of the assembly rule for functional groups or guilds. *Oikos* 73:125-132.

Fox, B. J. y G. L. Kirkland, Jr. 1992. North American soricid communities.



*Dipodomys ordii* o rata canguro

## Diseños de bloques balanceados incompletos (bibd) a través de un enfoque matricial

Manuel R. Piña<sup>1</sup>, Manuel A. Rodríguez<sup>2</sup> y Evelyn H. Castañeda<sup>2</sup>

### RESUMEN

Frecuentemente en la experimentación a través del diseño de bloques incompletos, encontramos que la información de la matriz  $C$  es una matriz singular, razón por la cual esta matriz no es invertible. En este artículo proponemos un enfoque matricial para calcular el efecto del vector de los tratamientos mediante la determinación de la pseudoinversa de  $C$  en el diseño de bloques incompletos balanceados (BIBD) y la construcción de la tabla del ANOVA en este enfoque para checar los términos significativos y la falta de ajuste del modelo.

**Palabras Clave:** Matriz Singular, Seudo-inversa, Descomposición del Valor Singular, Diseño de Bloques Balanceados Incompletos.

### INTRODUCCIÓN

Los diseños de bloques en general, son arreglos que se realizan con la finalidad de tener el control de forma sistemática sobre la variabilidad debida a fuentes externas. Cuando estas fuentes de variabilidad existen, es posible generar diseños por bloques capaces de separar y eliminar esta variación del resto de los efectos de los factores de interés. Preece (1967) introduce para estos objetivos, los diseños balanceados incompletos anidados en los que dentro de cada bloque del diseño de bloques incompleto, otro bloque incompleto es anidado. Singh y Dey (1979), consideran diseños experimentales de este tipo a los que llamaron Diseños de Bloques

<sup>1</sup> Manuel R. Piña Monarrez, cursa el grado de Doctor en Ciencias con Especialización en Ingeniería Industrial. Este artículo, se basa en su disertación doctoral "Metodología Robusta para Superficies de Respuestas". Programa Doctoral, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, México. romanpin1970@yahoo.com.mx

<sup>2</sup> División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, México.  
CULCyT//Enero-Febrero, 2006

Incompletos con Filas y Columnas Anidados (BIBRC) por sus siglas en ingles (Balanced Incomplete Block Design with Nested Rows and Columns). En particular, los Diseños de Bloques Incompletos Balanceados (BIBD) por sus siglas en ingles (balanced incomplete blocks design) los cuales son arreglos experimentales que permiten eliminar las fuentes de variabilidad de los efectos de los tratamientos. Así, el modelo a estimar esta dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Donde  $Y_{ij}$  es la  $i$ -ésima observación del  $j$ -ésimo bloque,  $\mu$  es la media general,  $\tau_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento,  $\beta_j$  es el efecto del  $j$ -ésimo bloque y  $\varepsilon_{ij}$  es el error aleatorio considerado  $NID(0, \sigma^2)$ . Para el ajuste del modelo dado en (1), la variabilidad total, es descompuesta en:

$$SS_{tot} = SS_{treat} + SS_{blocks} + SS_{residual} \quad (2)$$

Lo común, para obtener las sumas de cuadrados dadas en (2), para ajustar el modelo dado en (1), consistía en utilizar el estimador de Mínimos Cuadrados (MC) para a través de sus ecuaciones normales e introduciendo algunas restricciones adicionales, realizar las estimaciones correspondientes. La estimación de estas cantidades, es posible obtenerlas de manera eficiente a través de la aplicación de la inversa generalizada para resolver de manera directa el sistema de ecuaciones resultantes y ajustar el modelo dado en (1) con el que se representa al modelo. Como se muestra en este artículo, con este método, es también posible construir la tabla de análisis de varianza para probar la adecuación del modelo. Los BIBD son frecuentemente utilizados ya que durante el proceso de experimentación con diseños

experimentales aleatorios, frecuentemente no es posible realizar todas las combinaciones de los tratamientos dentro de cada bloque debido a restricciones de recursos o tamaño del bloque entre otros. Para estos casos, es recomendable utilizar los diseños experimentales BIBD, debido a que estos diseños, tienen menos tiempo de experimentación y menos costo ya que son diseños incompletos en los que cada par de tratamientos ocurren juntos el mismo número de veces Montgomery (1991). Lamentablemente, en los cálculos de los efectos que los tratamientos tienen sobre la variable de respuestas en estos diseños incompletos dados por:

$$\tau = C^{-1}Q \quad (3)$$

donde  $\tau$ , es un vector fila de efectos de los tratamientos,  $Q$  es un vector columna de efectos corregidos de los tratamientos dado por:

$$Q = T - nk^{\delta}B \quad (4)$$

$$C = r^{\delta} - nk^{-\delta}n^t \quad (5)$$

y  $C$ , es una matriz de información de  $n \times n$ , que generalmente resulta en una matriz singular, por lo que a través de los métodos clásicos, no es posible determinar su inversa  $C^{-1}$  para realizar la estimación. En el presente artículo, utilizamos la descomposición del valor singular de  $C$ , para determinar la matriz base ortogonal, que nos permita determinar la pseudoinversa de  $C$  dada por  $(C^+)$  (Inversa generalizada de Moore Penrouse), que utilizamos para estimar los efectos que los tratamientos tienen sobre la variable de respuesta. El método presentado en este artículo, puede ser utilizado para resolver problemas que presenten una matriz singular en el sistema de ecuaciones lineales, así como una forma alternativa para construir la tabla de análisis de varianza en la experimentación con los

BIBD. En la sección 2 se presentan las generalidades de los BIBD, en la sección 3 se presenta el método de construcción de la pseudoinversa, en la sección 4 se presenta el enfoque matricial de los BIBD, en la sección 5, se desarrolla una aplicación del enfoque matricial finalmente el artículo termina con los resultados y conclusiones en la sección 6.

## **2. DISEÑO BALANCEADO DE BLOQUES INCOMPLETOS (BIBD)**

En general los diseños de bloques son arreglos experimentales diseñados para sistemáticamente controlar la variabilidad de fuentes externas. En particular, los diseños de bloques balanceados incompletos (BIBD), son arreglos en los que cada bloque contiene solo algunos de los tratamientos que serán comparados, por lo que reducen el tiempo y costo de experimentación. Las propiedades de los diseños balanceados

se debe a que cada par de tratamientos, ocurre juntos el mismo número de veces en el diseño. Raghavarao (1971), define un BIBD como un arreglo de  $v$  símbolos y  $b$  conjuntos en los que cada uno de los  $k < v$  símbolos, deberán de satisfacer las siguientes condiciones:

1. Cada símbolo ocurre al menos una vez en cada conjunto.
2. Cada símbolo ocurre en exactamente  $r$  conjuntos.
3. Cada par de símbolos ocurran juntos en exactamente en  $\lambda$  conjuntos.

Los parámetros de un BIBD son  $v, b, r, k, \lambda$ , donde  $v$  es el número de variedades en el diseño,  $b$  es el número de bloques,  $r$  es el número de replicas en cada variedad,  $k$  es el tamaño del bloque y  $\lambda$  es el número de conjuntos en donde cada par de símbolos ocurre el cual deberá de satisfacer que  $vr = bk$  y  $\lambda(v-1) = r(k-1)$ . Un diseño es simétrico si  $v = b$  lo que genera como

consecuencia que  $r = k$ . Este tipo de diseños simétricos, son generalmente utilizados de un orden máximo de  $v = b = 7$ , restricción que puede ser eliminada a través de la construcción de diseños de mayor número de variedades y por supuesto de mayor número de bloques (Rodríguez, 2003). En la literatura existen varios métodos para la construcción de los BIBD tales como la construcción a través de diseños incompletos conocidos, a través de la matriz de Hadamard o por la construcción de geometrías finitas entre diseño, por lo que el diseño de bloques que se deberá de correr podría ser un diseño aleatorio balanceado de bloques incompletos (BIBD), [para la selección específica del diseño, el lector puede consultar la tabla de diseños (BIBD) presentado por Fisher y Yates (1953); Davies (1956) y Cochran y Cox (1957)]. El análisis estadístico para estos diseños,

otros. El método para la construcción del diseño utilizado en este artículo, fue a través del método de diferencias finitas dado por Bose (1939). Del mismo modo, cuando durante el proceso de experimentación, no es posible llevar a cabo todas las corridas experimentales de todas las combinaciones de los tratamientos, ya sea por restricciones de material, de costo u otro, pero todas las comparaciones entre los tratamientos tienen la misma importancia, las comparaciones deberán de ocurrir en forma balanceada en cada bloque del diseño, consiste en determinar la significancia de los efectos que los tratamientos y/o bloques tienen sobre la variable de respuesta, a través del análisis de varianza (*ANOVA*). El modelo estadístico que representa este diseño, es el que se definió en (1). Para este modelo, la suma total corregida, esta dada por (2) y puede ser rescrita como:



$$SS_{tot} = \sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - \frac{(Y_{..})^2}{N} \quad (6)$$

donde  $N = bk$  con  $b$  representando el número de bloques menos uno  $b = (B - 1)$ ,  $k$  es el número de tratamientos menos uno dado por  $k = (a - 1)$  y  $Y_{..} = \sum_i \sum_j Y_{ij}$ . Esta suma de cuadrados total puede ser descompuesta en  $SS_{tot} = SS_{trat} + SS_{bloque} + SS_{error}$  donde sus componentes están dados por:

$$SS_{trat} = \frac{k \sum_i Q_i^2}{\lambda a} \quad (7)$$

$$SS_{bloque} = \sum_j \frac{Y_{.j}^2}{k} - \frac{(Y_{..})^2}{N} \quad (8)$$

$$SS_{error} = SS_{tot} - SS_{trat} - SS_{bloque} \quad (9)$$

donde  $Q_i$  representa el  $i$ -ésimo tratamiento corregido dado por  $Q_i = Y_{i.} - \frac{1}{k} \sum_j n_{ij} Y_{.j}$  para  $i = 1, \dots, a$  y  $\lambda$  es el número de veces que cada par de tratamientos ocurre en el mismo bloque y que es dado por  $\lambda = \frac{r(k-1)}{a-1}$ . Por lo que el análisis de varianza para este modelo se presenta en la tabla 1:

<b>Tabla 1: Análisis de Varianza General para los BIBD</b>		
Fuente de Variación	Suma de Cuadrados (SS)	Grados de Libertad (df)
Media	$G^2 / bk$	1
Bloques	$B^t B / k - G^2 / bk$	$b - 1$
Tratamientos	$Q^t \hat{t}_0$	$t - 1$
Error	$y^t y - Q^t \hat{t}_0 - B^t B / k$	$bk - b - t + 1$
Total	$y^t y$	$bk$

### 3. SEUDO-INVERSA

Considere el sistema lineal  $Ax = y$ , donde  $x$  y  $y$  son vectores columna de  $n$  y  $m$  elementos respectivamente y  $A$ , es una matriz de  $(m \times n)$ . Cuando  $(m = n)$  y el determinante es desigual de cero  $\det[A] \neq 0$ , el sistema de ecuaciones tiene una solución dada por,  $x = A^{-1}y$ , donde  $A^{-1}$ , es la inversa de  $A$  tal que  $A^{-1}A = AA^{-1} = I$ . El problema analizado en este artículo, es para el caso general en el que  $A$ , sea una matriz rectangular o una matriz cuadrada singular. Este

#### 3.1 Descomposición del Valor Singular

Desde que cualquier matriz  $A$  de  $(m \times n)$  puede ser factorizada en  $A = V \Sigma U^t$ , donde  $A$  es la matriz de información,  $V$  son los eigenvectores de la matriz de covarianzas  $C^t C$ ,  $U$  son los eigenvectores de  $CC^t$  y

problema, aparece en la estimación de Mínimos Cuadrados (OLS) (por sus siglas en ingles ordinary least square) cuando la matriz de covarianzas es singular. Para este problema, Hill (1997), introduce el concepto de inversa generalizada, principalmente haciendo uso del concepto de descomposición en valores singulares el cual es una herramienta poderosa para determinar la pseudoinversa que nos permite solucionar el sistema de ecuaciones cuando la matriz de covarianzas es singular.

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 & 0 \\ M & M & O & M \\ 0 & 0 & \Lambda & \sigma_k \end{pmatrix} \text{ es una matriz}$$

diagonal con elementos diagonales dado por los valores singulares no negativos de  $C^t C$ . Del mismo modo, si  $C$  es una matriz cuadrada y  $\Sigma$  es una matriz invertible (es decir  $k = n$  y todos los  $\sigma_i > 0$ ), entonces  $C^{-1} = V \Sigma^{-1} U^t$  donde  $V$

y  $U$  son matrices ortogonales. Por otro lado, suponga que  $\Sigma^{-1}$  no existe debido a que al menos uno de los  $\sigma_i = 0$  para  $i = 1, \dots, k$ , por lo que podemos particionar e invertir  $\Sigma$  para obtener

$$\Sigma^+ = \begin{bmatrix} D^{-1} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

donde  $D = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 & 0 \\ M & M & O & M \\ 0 & 0 & \Lambda & \sigma_k \end{pmatrix}$  es una matriz

diagonal con elementos diagonales dado por los valores singulares positivos. De esta forma, la seudo inversa obtenida, está dada por:

$$C^+ = V \Sigma^+ U^t \quad (11)$$

Al multiplicar (11) por la derecha por  $U$  y por la izquierda por  $C$ , obtenemos:

$$U = CV \Sigma^+ \quad (12)$$

Lo cual nos permite utilizarla en (11) y obtener la seudo inversa de  $C$ .

#### 4. ENFOQUE MATRICIAL

Para el análisis de los BIBD a través de este enfoque, permítanos suponer que la

tabla 2 representa un diseño aleatorio de bloques balanceado incompleto (BIBD).

Tabla 2: Diseño Balanceado de Bloques Incompletos

Tratamientos	Bloques					T
	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	...	B <sub>b</sub>	Y <sub>i</sub>
Q <sub>1</sub>		Y <sub>12</sub>	Y <sub>13</sub>	...	Y <sub>1b</sub>	Y <sub>1.</sub>
Q <sub>2</sub>	Y <sub>21</sub>	Y <sub>22</sub>		...	Y <sub>2b</sub>	Y <sub>2.</sub>
Q <sub>3</sub>	Y <sub>31</sub>		Y <sub>33</sub>	...	Y <sub>3b</sub>	Y <sub>3.</sub>
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Q <sub>a</sub>	Y <sub>a1</sub>	Y <sub>a2</sub>	Y <sub>a3</sub>		Y <sub>ab</sub>	Y <sub>a.</sub>
Y <sub>j</sub>	Y <sub>.1</sub>	Y <sub>.2</sub>	Y <sub>.3</sub>	...	Y <sub>.b</sub>	Y <sub>..</sub>

Para determinar de este diseño los efectos que los tratamientos y bloques tienen sobre la variable de respuesta, en esta sección desarrollamos uno a uno los pasos necesarios para su aplicación. Los pasos son:

**Paso 1.-** De los datos de la tabla 2, determine el vector de tratamientos  $T$ , el vector de bloques  $B$ , el número  $r$  de veces que los tratamientos están presentes en el diseño y el número  $k$  de tratamientos que son probados en cada bloque, los cuales para los datos de la tabla 2 son:

$$T = \begin{bmatrix} Y_{1.} \\ Y_{2.} \\ Y_{3.} \\ M \\ Y_{a.} \end{bmatrix}, \quad B^t = \begin{bmatrix} Y_{.1} \\ Y_{.2} \\ Y_{.3} \\ M \\ Y_{.b} \end{bmatrix}^t, \quad r = (b-1) \quad y$$

$$k = (a-1)$$

**Paso 2.-** De la tabla 2, obtenga la matriz de incidencias  $n$  la cual para este caso es:

$$n = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

**Paso 3.-** Obtenga el vector de tratamientos ajustados definido en (2) que para este método esta dado como  $Q = T - nk^{-\delta} B$  donde  $\delta$  (Deltha de Kroneker), es definida por  $\begin{cases} 0, \dots, si \dots i \neq j \\ 1, \dots, si \dots i = j \end{cases}$ .

**Paso 4.-** Obtenga la matriz de información  $C$  como se definió en (5).

$$C = r^{\delta} - nk^{-\delta} n^t$$

**Paso 5.-** Obtenga la pseudoinversa como se definió en (10) si  $C$  es una matriz singular o su inversa si  $C$  no es singular. Para propósitos de este artículo, permítanos asumir que  $C$  es una matriz singular de modo que a través de (10) obtenemos la pseudoinversa dada por  $C^+ = V \Sigma^+ U^t$  a través de:

a) Obtener la matriz simétrica  $C^t C$ , sus eigenvalores  $A = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$  y sus eigenvectores  $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ .

b) Determine los valores singulares de  $C^t C$  dados por  $\sigma_i = \sqrt{\lambda_i}$  y representados por  $\Sigma^+ = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$  para toda  $\sigma_i > 0$ .

c) Determine  $U = \Sigma^+ C V$ .

d) Obtenga la pseudoinversa a través de la ecuación (11).

**Paso 6.-** Obtenga el vector de efectos de los tratamientos  $\hat{\tau}$  como se definió en la ecuación (1).

**Paso 7.-** Obtenga la suma total de cuadrados  $SS_{Tot}$  como se definió en (6).

**Paso 8.-** Obtenga la suma de cuadrados de los tratamientos  $SS_{Treat}$  como se definió en (7).

**Paso 9.-** Obtenga la suma de cuadrados de los bloques  $SS_{Block}$  como se definió en la ecuación (8).

**Paso 10.-** Obtenga la suma de cuadrados del error  $SS_{Res}$  como se definió en (9).

**Paso 11.-** Realice el análisis de varianza como se muestra en la tabla 3:

Fuente	Suma de Cuad(SS)	Grados de Libertad (df)
Bloques	$B'B/k - G^2/bk$	$b-1$
Tratamientos	$Q\hat{i}_0$	$t-1$
Error	$y'y - Q\hat{i}_0 - B'B/k$	$bk-b-t+1$
Total	$y'y - G^2/bk$	$bk-1$

**Paso 12.-** Concluya acerca de la hipótesis establecida.

## 5. APLICACIÓN DEL ENFOQUE MATRICIAL

Para la demostración del enfoque matricial, utilizamos un Diseño Balanceado por Bloques Incompletos (BIBD), originalmente publicado por Montgomery 2004 (Pág. 164), en el cual la variable de respuesta fue el desempeño de cinco tipos de aditivos para gasolina y los bloques fueron cinco carros. Los datos son analizados con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ . Los datos se presentan en la tabla 4.

Tabla 4: Datos del Desempeño de la Gasolina

Aditivo	Automovil					T
	1	2	3	4	5	$Y_i$
1		17	14	13	12	56
2	14			13	10	51
3	12			12	9	46
4	13	11	11			47
5	11	12	10			41
<b>B</b>	50	54	48	50	39	

### 5.1 Construcción de la tabla de Análisis de Varianza

**Paso 1.-** De la tabla 4 obtenemos.

$$T = \begin{bmatrix} 56 \\ 51 \\ 46 \\ 47 \\ 41 \end{bmatrix} \quad B^t = \begin{bmatrix} 50 \\ 54 \\ 48 \\ 50 \\ 39 \end{bmatrix} \quad r = (5-1) = 4, \quad k = (5-1) = 4.$$

**Paso 2.-** La matriz de incidencias es.

$$n = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

**Paso 3.-** El vector de tratamientos es.

$$Q = \begin{pmatrix} 56 \\ 51 \\ 46 \\ 47 \\ 41 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 50 \\ 54 \\ 48 \\ 50 \\ 39 \end{pmatrix}$$

$$Q = \begin{pmatrix} 33/4 \\ 11/4 \\ -3/4 \\ -7/2 \\ -27/4 \end{pmatrix}$$

**Paso 4.-** La matriz de información  $C$  es.

$$C = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 3 & -3/4 & -3/4 & -3/4 & -3/4 \\ -3/4 & 3 & -3/4 & -3/4 & -3/4 \\ -3/4 & -3/4 & 3 & -3/4 & -3/4 \\ -3/4 & -3/4 & -3/4 & 3 & -3/4 \\ -3/4 & -3/4 & -3/4 & -3/4 & 3 \end{pmatrix}$$

**Paso 5.-** Aplicando el proceso descrito en el paso 5 de la sección 4, la pseudoinversa es.

$$C^+ = \begin{pmatrix} 0.2132 & -0.0533 & -0.0533 & -0.0533 & -0.0533 \\ -0.0533 & 0.2132 & -0.0533 & -0.0533 & -0.0533 \\ -0.0533 & -0.0533 & 0.2132 & -0.0533 & -0.0533 \\ -0.0533 & -0.0533 & -0.0533 & 0.2132 & -0.0533 \\ -0.0533 & -0.0533 & -0.0533 & -0.0533 & 0.2132 \end{pmatrix}$$

**Paso 6.-** El vector de efectos de los tratamientos es.

$$\hat{r} = \begin{pmatrix} 16/75 & -4/75 & -4/75 & -4/75 & -4/75 \\ -4/75 & 16/75 & -4/75 & -4/75 & -4/75 \\ -4/75 & -4/75 & 16/75 & -4/75 & -4/75 \\ -4/75 & -4/75 & -4/75 & 16/75 & -4/75 \\ -4/75 & -4/75 & -4/75 & -4/75 & 16/75 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 33/4 \\ 11/4 \\ -3/4 \\ -7/2 \\ -27/4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11/5 \\ 11/5 \\ -1/5 \\ -14/5 \\ -9/5 \end{pmatrix}$$

**Paso 7.-** La suma total de cuadrados es.

$$SS_T = (17 \ 14 \ 13 \ 12 \ 14 \ 14 \ 13 \ 10 \ 12 \ 13 \ 12 \ 9 \ 13 \ 11 \ 11 \ 12 \ 11 \ 12 \ 10 \ 8) \begin{pmatrix} 17 \\ 14 \\ 13 \\ 12 \\ 14 \\ 14 \\ 13 \\ 10 \\ 12 \\ 13 \\ 12 \\ 9 \\ 13 \\ 11 \\ 11 \\ 12 \\ 11 \\ 12 \\ 10 \\ 8 \end{pmatrix} - \frac{(241)^2}{20} = 76.95$$

**Paso 8.-** La suma de cuadrados de los tratamientos es.

$$SS_{TRATAMIENTOS} = (33/4 \quad 11/4 \quad -3/4 \quad -7/2 \quad -27/4) \begin{pmatrix} 11/5 \\ 11/15 \\ -1/5 \\ -14/15 \\ -9/5 \end{pmatrix} = 35.73$$

**Paso 9.-** La suma de cuadrados de los bloques es.

$$SS_{BLOQUES} = \frac{1}{4} (50 \quad 54 \quad 48 \quad 50 \quad 39) \begin{pmatrix} 50 \\ 54 \\ 48 \\ 50 \\ 39 \end{pmatrix} - \frac{(241)^2}{20} = 31.20$$

**Paso 10.-** La suma de cuadrados del residual es. *re*

$$SS_{RESIDUAL} = 79.95 - 35.73 - 31.20 = 10.02$$

**Paso 11.-**El análisis de varianza se presenta en la tabla 5.

**Tabla 5:** Análisis de Varianza para el BIBD con un Enfoque Matricial

Fuente	Sum de Cuadrados (SS)	Grados de Lib. (df)	Cuad. Medios CM	F
Tratamientos	35.73	4	8.93	9.81*
Bloques	31.20	4	7.80	8.57*
Residual	10.02	11	0.91	
Total	79.95	19		

\*Significante a  $\alpha = 0.05$

**Paso 12.-** Conclusión acerca de la Hipótesis.

Para un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , el valor crítico de la distribución F esta dado por  $F_{0.05, 4, 11} = 3.36$ , por lo que se rechaza la hipótesis nula  $H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = 0$  y se

concluye que si existe diferencia entre las medias de los tratamientos. Dado que el análisis hasta aquí realizado, no refleja exactamente cual tratamiento presenta esta diferencia, nosotros recomendamos al lector realizar la prueba de rangos múltiples de Duncan entre otros métodos

para determinar la diferencia entre tratamientos.

## 6. CONCLUSIONES

El enfoque matricial para la solución de problemas en los que intervienen varias variables, es eficiente desde el punto de vista computacional y particularmente, el enfoque presentado en este artículo, permite a través de la inversa generalizada de Moore Penrouse, determinar una solución factible para un sistema de ecuaciones lineales, cuando como en este caso, el sistema presenta una matriz singular. La inversa generalizada, nos permite construir la tabla de análisis de varianza para determinar a través de ella la significancia de los factores y la falta de ajuste del modelo.

## BIBLIOGRAFIA:

Bose R. C. 1939. On the Construction of Balanced Incomplete Block Design. *Annals of Eugenics* 9 pp 353-399.

Cochran W. G. and G. M. Cox. 1957. *Experimental Design*. 2a ed. Wiley, New York.

Davies O. L. 1956. *Design and Analysis of Industrial Experiments*. 2a ed. Hafner Publishing Company New York.

Fisher R. A. and F. Yates. 1953. *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*. 4a ed. Oliver and Boyd, Edimburgo.

Hill R. O. Jr. 1997. *Álgebra Lineal con Aplicaciones*, tercera edición. Prentice Hill Iberoamericana S. A.

Montgomery D. C. 1991. *Diseño y Análisis de Experimentos*, Grupo Editorial Iberoamérica S. A. de C. V.

Montgomery D.C. 2004. *Diseño y Análisis de Experimentos*. Editorial Limusa S.A. de C.V. México, D.F.

Preece D. A. 1967. Nested Balanced Incomplete blocks designs. *Biometrika* No54 Vol 3 and 4, pp479-486.

Raghavarao D. 1971. *Construction and Combinatorial Problem in Design of Experiments*. Dover publications Inc. New York, pp 65-76.

Rodríguez M. A. 2003. *Enfoque Matricial para la Construcción y el Análisis de Varianza de Diseños de Bloques Incompletos Balanceados y con Renglones y Columnas Anidados*. (Tesis Doctoral) ITCJ, Chihuahua México. (No publicada).

Singh M. and A. Dey. 1979. Block Design with Nested Rows and Columns. *Biometrika* No. 66. Vol. 2, pp 321- 326.



## Metodología robusta para superficies de respuestas

MC Manuel R. Piña<sup>1</sup>, Dr. Manuel A. Rodríguez<sup>2</sup> y Dra. Elsa M. Benavides<sup>2</sup>

### RESUMEN

Esta investigación enfatiza el uso del diseño central compuesto y la regresión ridge para ajustar un modelo polinomial de segundo orden para representar la superficie de respuesta. Esto corresponde a la necesidad de una metodología estandarizada para mejorar la Metodología de Superficies de Respuesta (RSM). La RSM es útil en la determinación del mejor nivel de factores para determinar la salida de la variable de respuesta. Nosotros describimos un conjunto de doce pasos básicos para la aplicación efectiva de la metodología de superficies de respuesta. Una discusión de cada uno es incluido y su alcance también.

**Palabras Clave:** Metodología de Superficies de Respuestas, Regresión Ridge, Mínimos Cuadrados, Multicolinealidad, Diseño Central Compuesto.<sup>12</sup>

### 1. INTRODUCCIÓN

La Metodología de Superficies de Respuestas (MSR), es un conjunto de herramientas estadísticas y matemáticas,

utilizadas para optimizar una variable de respuesta sujeta a varias variables predictoras. La MSR, se utiliza cuando las relaciones entre las variables, no son completamente entendidas como para representarlas de manera directa a través de un modelo matemático exacto, si no que es necesario construir un modelo empírico para aproximar su comportamiento. Para aproximar este comportamiento, la MSR utiliza generalmente un diseño factorial fraccionado de resolución III para determinar la subregión de las variables predictoras para la cual la variable de respuesta presenta un óptimo. Esta subregión es alcanzada a través del ajuste de un modelo polinomial de primer orden a este diseño, ajustado por Mínimos Cuadrados (MC) y la

<sup>1</sup> Manuel R. Piña Monarrez, cursa el grado de Doctor en Ciencias con Especialización en Ingeniería Industrial. Este artículo se basa en su disertación doctoral "Metodología Robusta para Superficies de Respuestas". Programa Doctoral, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, México. romanpin1970@yahoo.com.mx

<sup>2</sup> División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, México. mrodriguez@itcj.edu.mx, ebenavides@itcj.edu.mx

aplicación iterativa del método de ascenso acelerado (ver Box y Draper 1987). Desafortunadamente, debido a las pocas corridas experimentales que el diseño requiere y al hecho de que la falta de ajuste del modelo de primer orden en esa subregión, es determinada cuando los efectos de interacción y/o cuadráticos puros son significantes, originan un incremento en el error tipo II si ajustamos un modelo polinomial completo de segundo orden cuando solo la iteración es significativa (o viceversa) (Ganzach, 1998). Dado que el modelo completo de segundo orden con que se modelan las superficies de respuestas, presenta de forma inherente el problema de multicolinealidad, por lo que el punto estacionario encontrado puede estar lejos del óptimo, el polinomio deberá de ser ajustado a través de la regresión ridge (RR). Para el ajuste del polinomio a través de RR, recomendamos utilizar un

diseño central compuesto (DCC), dadas las características de ortogonalidad, optimalidad D y optimalidad G que este presenta (Myers y Montgomery, 1995). Para un análisis detallado de la MSR, referimos al lector a Box y Wilson (1951); Box, Hunter y Hunter (1978); y Box y Draper (1987) entre otros.

## **2. PASOS ESTÁNDAR DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIES DE RESPUESTAS**

Sin pérdida de generalidad, permítanos asumir que el modelo a optimizar es un modelo de varias variables del tipo :

$$Y = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k) + \varepsilon_{ij} \quad (2.1)$$

donde  $\xi_j$ , son las variables naturales del proceso. La respuesta esperada en variables codificadas con  $\mu = 0$  y  $\sigma^2 = 1$  constante esta dada por:

$$E(Y) = f(x_1, x_2, \dots, x_k) = \eta \quad (2.2)$$

Así, la superficie de respuesta para estas variables esta dada por:

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (2.3)$$

donde  $\eta$ , es la superficie de varias variables a optimizar y  $(x_1, x_2, \dots, x_k)$ , son las variables independientes codificadas (factores de diseño). El componente  $\varepsilon_{ij}$  dado en (2.1), representa el error aleatorio considerado  $N(0, \sigma^2)$ . La naturaleza secuencial de la MSR, inicia cuando existe una característica de interés a ser medida y continua con la generación de ideas para determinar el conjunto de factores significantes que determinan su comportamiento. Los factores que se creen determinan el comportamiento de la variable de respuestas, son analizados en diseños de experimentos iterativos para a través del análisis de varianza (ANOVA) determinar cuales son significantes. Myers y Montgomery (1995) a este proceso iterativo, le dan el nombre de "Paso Cero". Para fines de este artículo, permítanos asumir que el conjunto de factores considerado en el diseño

experimental, son los factores significantes que determinan el comportamiento de la variable de respuesta. Por lo que los pasos estándar para la aplicación de la MSR son:

**1. Inicio.** Determine las variables naturales  $(\xi_j)$ .- Para este propósito, la metodología seis sigma, propone el uso del despliegue de la función de calidad (QFD por sus siglas en inglés), el mapeo del proceso, el diagrama de pareto y el diagrama de ishikawua. El paso incluye:

a. Determinar los niveles de las variables naturales  $(\xi_j)$ . El establecimiento de los niveles, depende de la naturaleza de la experimentación, de la región de operabilidad y de la región a ser modelada, por lo que el conocimiento del investigador del proceso bajo estudio y el alcance del objetivo que se persigue, son determinantes (Box y Draper, 1987).

b. Codifique las variables naturales. Las variables codificadas, permiten una mejor comparación entre ellas, se recomienda que la codificación entre los niveles sea equidistante. La codificación de las variables esta dada por:

$$X_i = \frac{\xi_i - \bar{\xi}}{S} \quad (2.4)$$

donde  $\xi_j$  las variables naturales y  $S$ , es la desviación entre la variable y su media  $\bar{\xi}$ .

**2. Ajuste un Polinomio de Primer Grado.** Para el ajuste de este polinomio, se recomienda utilizar un diseño experimental fraccionado de resolución III ya que la varianza de la respuesta esperada para este diseño es mínima (Khuri y Cornell, 1987). Además, este diseño requiere un numero pequeño de corridas experimentales y puede ser fácilmente incrementado a un diseño central compuesto para ajustar el modelo polinomial completo de segundo orden

(Myers y Montgomery, 1995). El modelo de primer orden es:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \varepsilon \quad (2.5)$$

### 3. Determine la Adecuación del Modelo de Primer Orden.

Antes de utilizar el modelo polinomial de primer orden para moverse dentro de la región de operabilidad hacia el óptimo, determine su adecuación a través del análisis de varianza. Para esto es necesario que el diseño utilizado no sea saturado y que se hayan realizado replicas genuinas (varias corridas experimentales para un nivel central de las variables) con la finalidad de determinar el error puro. Para determinar la adecuación del modelo recomendamos el procedimiento descrito por Montgomery, Peck y Vinnin (2002), en donde a través del ANOVA, se determina si el comportamiento de la respuesta en la

región actual de interés, presenta interacción y/o curvatura que refleje falta de ajuste del modelo.

**i)** Si el modelo no muestra falta de ajuste, pero los coeficientes estimados son cercanos a cero, es una indicación de que no hay dirección de mejoramiento en ese punto y el proceso de optimización, deberá de iniciarse una vez más en el paso 1.

**ii)** Si la falta de ajuste es debida solo a la interacción entre los factores y no a curvatura pura, la varianza entre los niveles de los factores deberá de ser reducida y otro diseño experimental deberá de llevarse acabo. No ajuste bajo esta situación un polinomio completo de segundo orden ya que esto incrementa el error tipo II (Ganzach, 1998).

**iii)** Si la inadecuación del modelo es dada porque los términos de interacción y cuadráticos puros son significantes pase al paso 6.

**4. Resuelva la Inadecuación del Modelo.** Si la falta de ajuste es solo significativa para los terminas de interacción, la varianza de las variables naturales ( $S$ ), deberá de ser reducida. Es decir se minimiza la región de exploración y de esa forma el modelo lineal proporcionara un buen ajuste.

**5. Aplique el Método de Ascenso Acelerado para Acceder a las cercanías del Óptimo.** Si el modelo de primer orden es aceptado para representar la superficie en la región actual de experimentación, aplique el proceso iterativo del método de ascenso acelerado a este polinomio para acceder a las cercanías del óptimo, avanzando en la dirección dada por el signo de los coeficientes de regresión (Si es descendente, deberá de tomar los signos opuestos), con incrementos proporcionales a la magnitud de los coeficientes. El nuevo punto así

estimado, es tomado como el nuevo punto central del diseño en  $n+1$  iteración y el procedimiento es repetido hasta que la falta de ajuste del polinomio este presente. Otra opción, consiste en definir el avance dando incrementos equivalentes a la distancia del punto central del diseño en la dirección de los signos de los coeficientes de regresión al punto de intersección de la esfera de radio 1 dada por:

$$\sum_{i=1}^k X_i^2 = 1 \quad (2.6)$$

El procedimiento iterativo termina cuando la falta de ajuste es significativa o cuando en dos iteraciones consecutivas, el mejoramiento en la variable de respuesta es mínimo, comparado con un límite pre-establecido por el investigador. Para un detallado análisis, referimos al lector a (Box y Draper, 1987; Myers y Montgomery, 1995; Khuri y Cornell, 1987) entre otros.

i) En el caso en el que a través de la aplicación iterativa del método de ascenso acelerado, la falta de ajuste del modelo de primer orden sea significativa, un diseño central compuesto deberá de ser utilizado para ajustar un modelo completo de segundo orden, determinar su adecuación a través del ANOVA.

ii) Si el modelo completo de segundo orden proporciona un buen ajuste, pero los términos de segundo orden, son pequeños comparados con los de primer orden, se deberá de aplicar el método de ascenso acelerado hasta que los términos de segundo orden sean potencialmente importantes.

**6. Aproxime la Superficie a través de un Modelo Completo de Segundo Orden.** Cuando el modelo de segundo orden del tipo:

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i X_i + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_{ii} X_i^2 + \sum_{I=1}^k \sum_{J=1}^k \hat{\beta}_{ij} X_{ij} \quad (2.7)$$

El cual puede ser escrito en forma matricial como  $\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + X' \hat{\beta} + X' B X$  va ha ser ajustado para modelar la superficie, recomendamos:

a) Utilizar un Diseño Central Compuesto. Este diseño es recomendado, dadas sus propiedades de:

i) Ortogonalidad (Obtención de los coeficientes principales en forma separada).

ii) Optimalidad D (maximiza el determinante  $|X'X|$  y de esa forma, la región de confianza del elipsoide de donde se determinan los coeficientes del polinomio dada por  $(\hat{\beta} - \beta)' X' X (\hat{\beta} - \beta)$ ).

iii) Optimalidad G (obtiene la varianza de la predicción mínima del modelo).

iv) Es de fácil construcción para la rotabilidad (varianza de la predicción constante sobre la esfera de radio 1) cuando se le agregan puntos axiales dados por:

$$\alpha = \sqrt[4]{2^k} \quad (2.8)$$

donde  $2^k$  es el numero de puntos factoriales del diseño. El número de puntos centrales recomendados para dar estabilidad a la varianza de la predicción es de 3 a 5 puntos.

b) Escale la matriz de regresores y la variable  $y$ , a través del método de escalonamiento unitario para evitar el deterioramiento innecesario de la ordenada al origen y minimizar el deterioramiento de la matriz de covarianzas  $(X'X)$ .

c) Ajuste un modelo polinomial de segundo orden. El ajuste de este polinomio, deberá de realizarse a través del método de regresión ridge, dado que es el mejor método de estimación sesgada (Golam-Kibria, (2003). El polinomio completo de segundo orden, presenta de forma inherente el problema de multicolinealidad, el cual causa deterioramiento en la matriz de precisión

$(X^t X)^{-1}$ , generando inestabilidad en los coeficientes estimados debido a los factores de inflación de la varianza. Ver por ejemplo Hoerl y Kennard, 1970a; Hoerl y Kennard, 1970b; Obenchain, 1975; Montgomery, Peck y Vinnin, 2002; y Piña, Rodríguez y Díaz, 2005-a.

d) Determine la constante de proporcionalidad  $K$ . Entre los muchos métodos de estimarla (Además de la inspección directa de la traza), nosotros proponemos estimarla a través de:

$$k = \frac{p\sigma^2}{\beta^t (X^t X) \beta} \quad (2.9)$$

(ver Lawless y Wang, 1976; Piña, Rodríguez y Díaz, 2005-a). Para el análisis de otros métodos de estimar  $K$ , ver Marquardt, 1970; Obenchain, 1975; Hemmerle, 1975; Hoerl, Kennard y Baldwin, 1975; Hoerl y Kennard, 1976; Hemmerle, 1978 entre otros. En estudios recientes, Rubio y Firinguetti (2002) y Golam Kibria (2003), encontraron que el

método propuesto por Lawles y Wang (1976) es mejor para determinar el valor de  $K$  que el propuesto por Hoerl y Kennard (1976) cuando la multicolinealidad presente en el diseño es pequeña, como lo es en este caso.

**7. Determine la Adecuación del Modelo Polinomial de Segundo Orden.** Como en el caso del modelo de primer orden, la inadecuación del modelo, es determinada a través del ANOVA.

**8. Resuelva la Inadecuación del Modelo Polinomial de Segundo Orden.** Si el modelo no es el correcto para representar la superficie en esa región, es necesario reducir la región de experimentación, reduciendo la varianza ( $S$ ) de los factores (Neddermeijer, Oortmarssen, Piersma y Dekker, 2000).

**9. Realice el Análisis Canónico de la Superficie.** Una vez que el modelo



completo de segundo orden es adecuado, se determina de este modelo, el polinomio canónico para la optimización de la superficie a través de explorar y determinar la localización y naturaleza del punto estacionario. La forma matricial del modelo completo de segundo orden a ajustar es:

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + X^t \hat{\beta} + X^t B X \quad (2.10)$$

donde:

$$X^t = (x_1, x_2, \dots, x_k), \quad \hat{\beta}^t = (\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \dots, \hat{\beta}_k) \quad \text{y}$$

$$B = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12}/2 & \dots & \beta_{1k}/2 \\ & \beta_{22} & \dots & \beta_{2k}/2 \\ & & O & M \\ \text{sym} & & & \beta_{kk} \end{bmatrix}, \quad (2.11)$$

El procedimiento para obtener el polinomio canónico del modelo dado en (2.10), consiste primero en diferenciar este polinomio con respecto a  $X^t$  y establecer la derivada igual a cero para obtener la solución del punto estacionario como:

$$x_s = -\frac{1}{2} \hat{B}^{-1} \hat{\beta} \quad (2.12)$$

Segundo, determinar si el punto estacionario definido en (2.12) es el óptimo del sistema cuadrático. Para ello suponga que  $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k)$ , son los eigenvalores de la matriz  $B$  dada en (2.12), por lo que si todos son positivos,  $x_s$  es un mínimo, si todos son negativos,  $x_s$  es un máximo y si al menos uno es de diferente signo,  $x_s$  es un punto de silla. Para un análisis detallado de este punto ver Box y Draper (1987).

i) Si el punto estacionario  $x_s$  es un punto de silla o si cae fuera de la región de experimentación, no se deberá de tomar como el nuevo punto central para el análisis y optimización de la superficie. Para este caso, deberá de ajustarse un polinomio canónico en su forma A (polinomio rotado sin términos de productos cruzados), para determinar la nueva dirección de búsqueda del óptimo a través de la aplicación del

método de ascenso acelerado a este polinomio.

ii) Si el punto estacionario  $x_s$  encontrado, está dentro de la región de experimentación, y no representa un punto de silla, deberá de ajustarse un polinomio canónico en su forma  $B$  (polinomio rotado y sin los términos lineales) para realizar la exploración en las fronteras de  $x_s$ , tomándolo como el punto central del diseño central compuesto realizado.

iii) Si el punto  $x_s$  es un máximo, pero cae fuera de la región de experimentación, no es recomendable extrapolar, por lo que a través de los multiplicadores de Lagrange, deberá de ajustarse una esfera de radio 1 centrada en  $(0, 0, \dots, 0)$ , las cuales son el centro del diseño, para explorar con ella en las cercanías de  $x_s$ . Así, el punto óptimo encontrado dentro de esa esfera, deberá de utilizarse como el nuevo centro de CULCyT//Enero-Febrero, 2006

del diseño y aplicar el proceso iterativo del método de ascenso acelerado hasta que  $x_s$  caiga dentro de la región de experimentación o llegemos hasta el limite de la región de operabilidad del sistema o proceso analizado. Una vez que  $x_s$  esté dentro de la región de experimentación, un modelo canónico en su forma  $B$ , deberá de ser ajustado para realizar la exploración del sistema. (Box y Draper, 1987).

**10. Después de Aceptar el Punto Estacionario.** Una vez que el punto estacionario  $x_s$  es aceptado, este deberá de tomarse como centro del diseño y deberá de realizarse la caracterización del sistema que ese punto representa, de modo tal que:

i) Si el sistema de loma encontrado es un sistema estacionario para alguno de los factores (Algunos de los eigenvalores son cero, esto verificado de sus intervalos de confianza) un

polinomio canónico es ajustado sin los eigenvalores que son cero y el mejor nivel de los demás factores que optimizan la respuesta en ese punto, deberá de ser determinado. Para esta situación existen óptimos alternativos, de manera que es posible optimizar alguna otra característica secundaria del proceso que se desee. (Box y Draper, 1987).

ii) Si el sistema de loma encontrado es un sistema ascendente (o descendente), la búsqueda del óptimo, deberá de realizarse llevando a cabo nuevos experimentos en la dirección ascendente (o descendente) del sistema, hasta el límite de la región de experimentación o hasta que otra característica (como costo) de la experimentación sea infactible. El óptimo para este sistema, está en el límite de la región de experimentación, justo en la dirección del gradiente del

polinomio canónico ajustado (Box y Draper 1987).

iii) Si el punto  $x_s$  es un sistema estacionario, sus coordenadas representan el mejor nivel de los factores que optimizan la respuesta.

**11. Criterio de Parar.** La búsqueda iterativa del óptimo, generalmente se detiene después de haber ajustado solo un modelo polinomial de segundo orden (Fu 1994). Como quiera, nosotros concordamos con Neddermeijer, Oortmarssen, Piersma y Dekker (2000) en detener la búsqueda del óptimo cuando:

i) El valor de la respuesta estimada en la iteración  $n+1$  no mejore sustancialmente la respuesta.

ii) La región de interés sea demasiado pequeña.

iii) Cuando existan restricciones de capital o de proceso.

**12. Determine el Nivel Óptimo de los Factores.** Tome como nivel óptimo de los factores, las coordenadas de  $X_s$  encontradas en el paso 11 y determine la respuesta óptima esperada. Estos niveles de los parámetros, son los parámetros bajo los cuales el proceso deberá de estar trabajando.

### **3. DISCUSIÓN**

Dada la naturaleza iterativa de la Metodología de Superficies de Respuestas (MSR) y a la falta de un procedimiento estandarizado para su efectiva aplicación, existe una necesidad inmediata para estandarizar este proceso. Existe una gran cantidad de investigaciones realizadas para mejorar partes del proceso de la MSR, pero poco se ha hecho para estandarizarla. Neddermeijer, Oortmarssen, Piersma y Dekker (2000) proponen un procedimiento secuencial para la

aplicación de la MSR en la optimización por simulación, pero en su procedimiento, no toman en cuenta la multicolinealidad inherente que el polinomio completo de segundo orden presenta. Ellos sugieren realizar el ajuste del polinomio a través de Mínimos Cuadrados. Nuestro objetivo en este artículo consistió en establecer el ajuste del polinomio cuadrático a través del método de Regresión Ridge como un paso estándar de la MSR y utilizar el Diseño Central Compuesto para representar la región de experimentación, así como establecer un conjunto de 12 pasos básicos para la aplicación efectiva de la MSR.

### **4. CONCLUSIONES**

En este artículo, establecemos un conjunto básico de 12 pasos para la aplicación efectiva de la Metodología de superficies de Respuestas y damos un

breve análisis de cada uno. El objetivo del artículo consiste en hacer énfasis en la necesidad de asegurar que los términos cuadráticos puros, sean dominantes en la región de interés donde se encuentra el óptimo, con la finalidad de minimizar el error tipo II en la decisión. Los argumentos y referencias dadas aquí, se realizan con la finalidad de mostrar la necesidad de utilizar no solo el diseño central compuesto (DCC),

si no también realizar el ajuste del polinomio completo de segundo orden a través de método de Regresión Ridge (RR), dándole así estabilidad a sus coeficientes estimados y como consecuencia confiabilidad al modelo canónico y al punto estacionario  $X_s$  que determinan las condiciones operacionales del proceso o sistema bajo estudio.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

Box G. E. P. and Draper N. R. 1987. Empirical Model-Building and Response-surfaces, New York: John Wiley & Sons.

Box G. E. P. and Wilson K. B. 1951. On the Experimental Attainment of optimum Conditions: Journal of the Royal Statistical Society, Series B 13(1): 1 – 38.

Box G. E. P., Hunter W. G. and Hunter J. S. 1978. Statistics for Experimenters: An introduction to design, data analysis, and model building, New York: John Wiley & Sons.

Fu M. C. 1994. Optimization via Simulation: a review. Annals of Operations Research 53: 199 – 247.

Ganzach Y. 1998. Non-linearity, Multicolineality and the Probability of the Type II Error in Detecting Interaction. Journal of Management. Vol. 24, No 5, 615-622.

Golam-Kibria B. M. 2003. Performance of Some New Ridge Regression Estimators. Communication in statistics: Vol. 32, No 2, pp 419 – 435.

Hemmerle W. J. 1975. An Explicit Solution for Generalized Ridge Regression. Technometrics, Vol. 17, No 3 pp 309–314.

Hemmerle W. J. and Brantle. 1978. Explicit an Constrained Generalized Ridge Estimation. Technometrics, Vol. 20, No 2 pp 109 – 120.

Hoerl, A. E. and R. W. Kennard. 1970a. Ridge Regression: Biased estimation for non-orthogonal problems. *Technometrics*, Vol. 12, No , 55-67.

Hoerl, A. E. and R. W. Kennard. 1970b. Ridge Regression: Applications to non-orthogonal problems, *Technometrics*, Vol. 12, No 1, 69-82.

Hoerl, A. E., R. W. Kennard and K. F. Baldwin. 1975. Ridge Regression: Some Simulations. *Communication in statistics*, 4(2), 105-123.

Hoerl, A. E. and R. W. Kennard. 1976. Ridge Regression Iterative Estimation of the Biased Parameter. *Communication in statistics*, A5(1), 77-88.

Khuri A. I. and Cornell A. 1987. Response-surfaces: Design Analyses".

Montgomery D. C., Peck E. A. y Vining G. G. 2002. *Introducción al Análisis de Regresión Lineal*, México: Editorial Continental. Tercera edición.

Myers R. H. and Montgomery D. C. 1995. *Response-surface Methodology: process and product optimization using designed experiments*, New York: John Wiley & Sons.

Obenchain R. L. 1975. Ridge Analysis Following a Preliminary Test of the

*Communication in statistics* New York: Marcel Dekker, Inc.pp.

Lawless J. F. and P. Wang. 1976. A simulation Study of Ridge and other Regression Estimators. *Communication in Statistics – Theory and Method*, A5 (4), 307 – 326.

Neddermeijer H. G., Oortmarsen G. J., Piersma N and Dekker R. 2000. A Framework for Response-surface Methodology for Simulation Optimization. *Proceedings of the 2000 Winter Simulations Conference* J. A. Joines, R. R. Barton. K. Kang, and P. A. Fishwick, Eds.

Marquardt D. W. 1970. Generalized Inverses, Ridge Regression, Biased Linear Estimations and non Linear Estimation. *Technometrics*, Vol. 12, No 3, pp 591–612. Shrunken Hypothesis. *Technometrics*. EUA. Vol. 17, No.4, 431-441.

Piña, Rodríguez y Díaz. 2005. Superioridad de la Regresión General Ridge sobre Mínimos Cuadrados. *CULCYT//Enero-Febrero*, 2005, México. Año 2, No 6. 21-26

Rubio H. and L. Firinguetti. 2002. The Distribution of Stochastic Shrinkage Parameters in Ridge Regression. *Communication in Statistics – Theory and Method*: Vol. 39, No 9, pp 1531–1547.

## EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Dr. Victoriano Garza Almanza<sup>1</sup> y PhD. Mohammad Badii<sup>2</sup>

La unidad laboral del quehacer científico es el proyecto de investigación. Un proyecto, en un sentido práctico, viene siendo la mínima expresión manejable de un problema de carácter científico.

La estructuración de este problema, desde su concepción hasta su planteamiento operativo –que no será necesariamente un planteamiento final porque puede suceder que ya se tenga desarrollado y redactado cuando surjan nuevas ideas sobre él– toma tiempo. Usualmente, el investigador va eslabonando claves y siguiendo pistas para aceptar o rechazar la idea de qué lo que él piensa que es un problema de investigación, en verdad lo es.

En ocasiones lo realiza como ejercicio mental y paralelamente a la investigación que en ese momento pueda tener entre manos. Otras veces lleva un riguroso registro de los pros y contras que atañen al, hasta ese momento, “proto-problema”, sin que lo acepte o lo rechace hasta que los hechos de sustento o evidencias lo establezcan como procedente o improcedente.

Cualquiera de las dos vías es válida, ya que nos puede confirmar su viabilidad o exponer el error en que se está. Luego, el siguiente paso que tiene que dar el investigador es armar ese rompecabezas en términos funcionales para que pueda ser comunicable y entendible a sus pares.

Esto significa darle una “personalidad” propia a ese (proto) problema. Esto es, describir la hipótesis de trabajo, métodos, y procedimientos de acción en un protocolo.

¿Pero que objeto puede tener, además de ser comunicable y claro, que un investigador redacte un documento donde se expresen las características formales de su hipótesis, si a fin de cuentas llevará a cabo o dirigirá la investigación?

En apariencia, hasta cómoda y segura contra plagiarios resulta esta posición, pero sucede que es lo contrario; este documento representa el Faro que guiará al investigador en su andar; no interesa cuantas veces retroceda o derive hacia uno u otro lado mientras no pierda de vista y trate de acercarse a esa luz.

Puede suceder, y de hecho es común, que en esa “aventura” surjan brechas que, presuntamente, conduzcan a otras zonas ricas en problemas cuyos destellos puedan deslumbrar y hasta desorientar al investigador en perjuicio de su trabajo pero, si a pesar del multicolorido de esas zonas guarda atención al Faro–meta, es probable que arribe a algún punto sobre la dirección de él –que no precisamente significa éxito–, con una pericia que permitirá una vista más experta hacia los problemas.

Aunque la importancia de un escrito científico como el protocolo es incuestionable, el uso de este artificio literario está poco extendido en la planeación y desarrollo de la investigación en instituciones de enseñanza superior, públicas y privadas, de México. Aún más, son muchos los individuos que llevan a cabo actividades de investigación sin contar con este

<sup>1</sup> Programa Ambiental. Instituto de Ingeniería y Tecnología. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. [vgarza@uacj.mx](mailto:vgarza@uacj.mx)

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León.

documento, que no es otra cosa que la identidad de la investigación.

Las varias situaciones que se pueden presentar en un laboratorio o en alguna

1. que se está escribiendo –puede ser el caso del investigador que por el momento no está desarrollando nada; que esté trabajando sin él, o que efectivamente lo esté preparando–.
2. que se está discutiendo con el grupo de trabajo.
3. que aún no se tiene pero que hay avances que hablan del planteamiento.
4. que se está elaborando mientras se trabaja.
5. que existe un oficio de la institución, o una publicación en el boletín de la universidad, o una nota en el periódico local, que menciona por su nombre al proyecto, aunque no haya por escrito otra cosa que eso.
6. que el investigador no entiende a que se hace referencia.
7. que se certifique con el documento la existencia del protocolo de la investigación.
8. o que, cosa también frecuente, que la persona confunde el trabajo operativo de un programa con actividades de investigación, y sus planes de trabajo con protocolos de investigación.

Estas situaciones, entre otras, nos pueden dar, en conjunto, una idea del sentido del desarrollo de la investigación inherente a esos lugares.

Pero ¿a que se debe que pase esto en México, si no es que en muchos otros países de la región latinoamericana? Porque, al contrario de lo que se dice con los poetas, el científico no nace, se hace; y en el país, por más que se formen individuos con posgrado, muchos no alcanzan a forjarse como investigadores. No acaban por hacerse, por “cuajar”.

Es evidente que esa habilidad no técnica, digamos manejadora de vastas cantidades de información en referencia a dos o más problemas de investigación a la vez, organizadora y proyectista, es parte de la formación extracurricular del estudiante de posgrado que es deseable recibir, cuando existe una preparación de investigadores por investigadores, pero que difícilmente adquieren todos los aprendices cuando estudian su doctorado en cualquier nación.

entidad de investigación, al inquirir sobre la existencia del protocolo de determinado proyecto de investigación, son:

Una de las razones que argumentan muchos posgraduados, es que el aprender eso que no se enseña como un curso formal, la elaboración de proyectos y la definición de a dónde se remitirán –entre muchas otras habilidades no técnicas más–, sólo se llega a adquirir cuando los lazos entre el tutor y el estudiante van más allá de la simple dirección de tesis y se llega a un punto de aproximación familiar que está dado por lo que en Estados Unidos llaman “mentoría”.

El atiborramiento de información, teorías y datos técnicos de toda índole, y el desarrollo de una investigación “original” bajo permanente supervisión, durante los cuatro o siete años que dure el individuo en el doctorado, no es garantía suficiente para entregar al final de la cadena un científico o un investigador listo para entrar en batalla. Lo cierto es que un buen porcentaje si alcanza su objetivo, otros terminan por madurar con el tiempo, pero otra buena cantidad jamás se realiza.



La capacidad de “celular” los sistemas problemáticos de entre un mar de conocimiento científico y una situación real inmediata al investigador, abundante en información mezclada, es el frágil límite que separa al legítimo investigador del erudito científico.

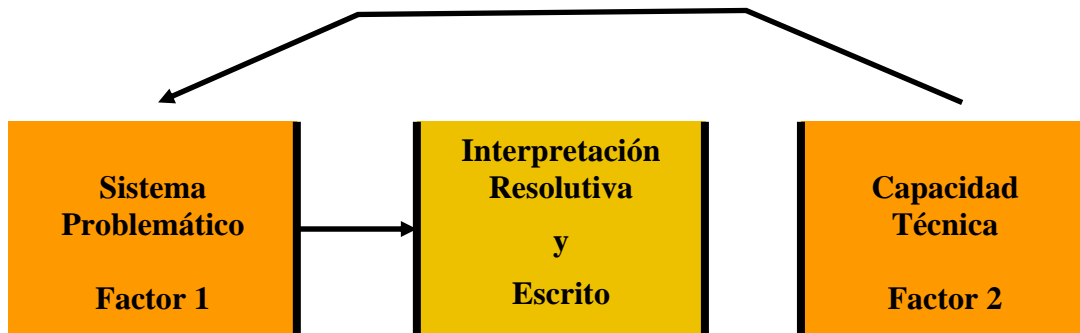
Hasta aquí nos hemos referido a la concepción de la actividad científica desde su origen gónico, como un proto-problema hasta perfilarse como un proyecto y luego definirse protocolariamente. Pero, entonces, ¿Qué es un protocolo?

Es la documentación del planteamiento de una interrogante científica, surgida de una situación problemática de nuestra competencia, diseñada para emprender activamente su resolución con los métodos e instrumentos que sean pertinentes.

La siguiente, puede ser una forma o estilo de realizar un protocolo, de las cuales hay muchas formas:

1. Durante el proceso de su elaboración, la situación problemática que interesa al investigador es sistematizada y, de las interrogantes que en esta etapa emergen, se categoriza, estudia y determina el enfoque que más ajuste a nuestras capacidades técnicas para de ahí asirlo. Como se ve, por un lado se pule el problema para entenderlo mejor y, por el otro, se distingue la capacidad técnica que el individuo posee para manejarlo.

Con estas ideas se hace un primer acercamiento crítico que ayudará a aclarar aún más el esquema proto-problemático, con lo que se tiene lo siguiente (Fig. 1)



**Fig. 1. Elaboración del Protocolo**

Donde la variabilidad del factor 2 dará la medida de penetración en el factor 1 y, en consecuencia, una interpretación metódica para la resolución del problema, la cual se plantea en un escrito.

2. Descontando si ya anteriormente se había hecho un intento por conocer más del problema en fuentes bibliográficas o con expertos, en esta etapa es útil volver a hacer una o ambas cosas. O sea, recurrir a un “subsidio” intelectual. Entonces, se lleva a cabo una reconstrucción de ideas, pasiva (si el investigador se vale de uno mismo), o

activa (si se procura el apoyo de otros expertos), que hará más evidentes los errores de edificación del anteproyecto que culminará con otro nuevo documento superior al anterior.

3. Dependiendo de la clase de problema de que se trate, un reconocimiento práctico de reconstrucción experimental en laboratorio o campo, una especie de “piloto”, seguido por otro regreso a las fuentes –que en esta etapa más que de guía nos sirven de contraste– y la composición de otro nuevo escrito a partir del anterior, arrojará un borrador

más parecido ya a un verdadero proyecto.

Esta secuencia, dependiendo de la experiencia del investigador y de la talla del problema, puede ir de regresiva a progresiva, continuamente, hasta que se perfeccione para la puesta en práctica del proyecto. Su desarrollo puede tomar días o semanas.

Incluso, a un alto nivel de investigación, hay proyectos de corto o mediano plazo cuya meta es la de despejar ciertas incógnitas, a través de la búsqueda de información subyacente en la naturaleza, para componer un megaproyecto de largo plazo (Fig. 2).

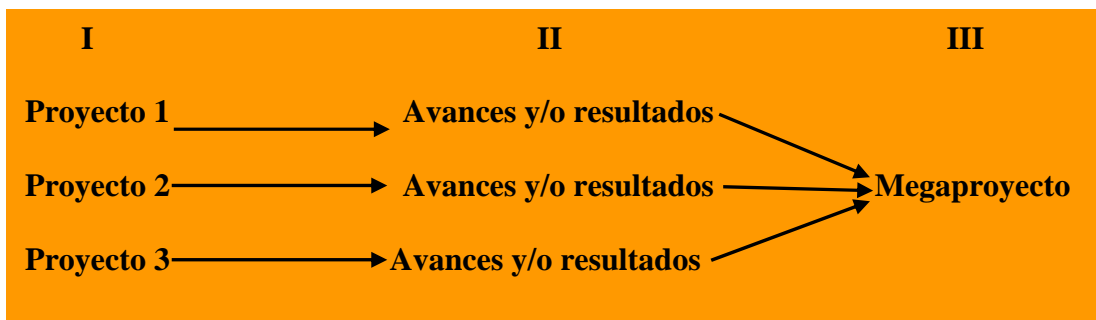


Fig. 2. Megaproyecto

Como se puede advertir, cada paso visto a la luz del borrador final es un acercamiento parcial, y si se hubiera iniciado el trabajo de investigación sin ningún plan o con apenas un esbozo del proyecto, no se hubiera llegado muy lejos o hubiera costado mucho esfuerzo enderezarlo.

Llegado a este punto, entra en escena un tercer factor que es el recurso con que se cuenta, o que se requiere para realizar el trabajo. Con “recurso” se significa al personal necesario, los equipos y materiales gastables, y dinero en efectivo para sufragar viajes de campo, viáticos para los técnicos, etc. Esta parte presupuestal debe de estar bien balanceada respecto a lo que se pretende hacer, de otra manera se corre el riesgo de no poder realizar el estudio completo.

Si se carece de un protocolo como programa de trabajo en la investigación, cualquier acción de búsqueda que se rijan por bocetos archivados en la mente corre el riesgo de no conducir a ninguna parte pues, aunque no se quiera, el investigador sufrirá notables desviaciones en el seguimiento de sus objetivos debido a la interpretación de datos de laboratorio o campo filtrados por estados emocionales diversos.

Aunque este riesgo no se pierde al existir de por medio un protocolo, ni tampoco es garantía de que toda la faena se realizará al pie de la letra, sirve como artificio regulador legal, a la vista de los investigadores así como a la de las instituciones sede y de financiamiento, que llamará a la corrección del rumbo cuando de este se esté desviando el investigador.



**México necesita una revolución en ciencia:  
Mario Molina**

Las políticas en materia de educación, ciencia y tecnología en México van por mala dirección “porque no se está haciendo nada”, afirmó el Premio Nóbel de Química 1995, Mario Molina, quien destacó que se necesita emprender una verdadera “revolución” en esos rubros y originar cambios profundos porque, de lo contrario, el nivel de vida de la población irá en detrimento.

Durante una conferencia de prensa llevada a cabo en la Academia Mexicana de Ciencias (AMC), el investigador de origen mexicano señaló a las evaluaciones internacionales en materia educativa como una verdadera muestra de que el país no avanza en la dirección correcta, por lo que hizo un llamado a la sociedad a exigir a sus gobernantes mayor apoyo en estas áreas.

Los problemas que vemos en ciencia, educación y tecnología en México son consecuencia de que estos temas no han sido de alta prioridad para los gobiernos ni para la sociedad, producto de una visión errónea de la situación, pues se piensa que el país no se puede dar el “lujo” de gastar en ciencia y tecnología, “pero en realidad, si no nos damos ese lujo, las cosas nos van a salir más caras. Necesitamos impulsar el desarrollo de las nuevas tecnología para que funcione bien la economía del país”.

Acompañado por el también Premio Nóbel de Química Richard R. Schrock, Mario Molina indicó que cuando los recursos económicos son limitados en un país como el caso de México, una tendencia natural de los políticos es preocuparse únicamente en las prioridades a corto plazo, las que darán resultados durante el tiempo que dure esa administración.

En ese sentido, destacó que aún cuando el próximo gobierno en México apoye más decididamente a la ciencia, la educación y la tecnología del país, los resultados se verán en el mediano plazo, aunque reconoció que esa administración sí podrá demostrar que la dirección emprendida es la correcta.

El invertir más recursos en educación, ciencia y tecnología “es un reto muy grande para un gobierno, sobre todo a sabiendas de que los resultados van a ser a largo plazo, que van a materializarse en futuros sexenios. Pero ese gobierno que empiece a invertir más recursos, sí podrá demostrar que el país avanza en la

dirección correcta, lo cual sería un logro muy grande”.

Y es que el también miembro de la AMC aseveró que, en la actualidad, tenemos la seguridad de que en muchos campos como la educación, la ciencia y la tecnología, las políticas del gobierno van en mala dirección, “porque no estamos haciendo nada. Por ello necesitamos emprender cambios que nos demuestren que vamos en buena dirección”.

Molina dejó en claro que esos cambios profundos que necesita la educación, la ciencia y la tecnología en México, no sólo se limitan a invertir mayores presupuestos en la materia, sino de organizar esas áreas para que a la par de aumentar la calidad, para lo cual el gobierno podría apoyarse de instituciones como la AMC o algunas otras instituciones sociales, con el fin de garantizar un buen cumplimiento de los proyectos.

Por su parte, Richard R. Schrock, se refirió a sus trabajos de investigación que lo llevaron a obtener el Premio Nóbel de Química 2005, en los cuales busca atrapar el nitrógeno presente en el aire y transformarlo a través de procesos químicos para hacerlo útil para los organismos vivos.

Explicó que el nitrógeno no puede ser aprovechado por los organismos vivos por sí solo, sino que es necesario su transformación en amoníaco para que se pueda utilizar; sin embargo, esa transformación sólo ocurre en pequeñas cantidades mediante procesos naturales en el mineral que se encuentra en la tierra.

Ante ese problema, indicó que se han comenzado a emplear diversas técnicas para atrapar ese nitrógeno presente en el aire y transformarlo en amoníaco para que sea útil a los seres vivos, aunque aclaró que las técnicas desarrolladas en la actualidad aún resultan muy costosas.

El investigador del Instituto Tecnológico de Massachusetts destacó que, a pesar de lo anterior, este tipo de técnicas podrían ser de gran utilidad en el futuro, no sólo para atrapar el nitrógeno del aire, sino para crear hidrógeno que será uno de los combustibles en el futuro, e incluso para generar energía eléctrica, aunque reiteró que para ver cumplido “ese sueño” se necesitará de algún tiempo.

Academia Mexicana de Ciencias  
Boletín AMC/12/06  
México, D.F., lunes 6 de febrero de 2006

### **Hay desinterés de la IP por el conocimiento científico**

La falta de vinculación entre la comunidad científica y la sociedad no es producto de la falta de voluntad de los investigadores, sino del desinterés de la iniciativa privada y, en algunas ocasiones, del gobierno, para aplicar esos nuevos conocimientos que se generan en los centros de investigación del país, afirmó Alejandro Raga Rasmussen.

Para el astrónomo adscrito al Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM, en algunas ocasiones, incluso, los científicos tratan de aplicar conocimientos generados en las ciencias básicas; sin embargo, por lo general, no hay empresa o institución interesada en ellos, a pesar de su gran potencial de aplicación.

“En general, el desinterés por la ciencia realizada en el país no se toca, pues cuando se habla de falta de vinculación pareciera que es culpa de los investigadores que estamos en una torre de marfil. Pero en realidad el mayor problema es que si intentas aplicar tu investigación, es difícil encontrar gente interesada en usarla”.

Al respecto, el científico puso de ejemplo que su grupo de investigación ha tratado de aplicar algunos modelos matemáticos que sirven a los astrónomos para calcular las explosiones astrofísicas, que pudieran ser de gran utilidad para calcular daños en la Tierra, por ejemplo, durante una explosión en una plataforma petrolera.

Hizo énfasis en que con este tipo de cálculos se podrían conocer los posibles escenarios en caso de registrarse explosiones en las plataformas petroleras de PEMEX, para evitar que se sigan registrando decesos por ese tipo de siniestros. Pero, hasta el momento, lamentó el investigador, la paraestatal no ha dado respuesta alguna a este intento de vinculación.

Explicó que ese desinterés puede ser producto de que si se conocen los escenarios de riesgo ante una posible explosión, la institución deberá tomar medidas preventivas, pero, en caso contrario, no se tiene ninguna responsabilidad en caso de seguirse registrando decesos, dado que se puede argumentar que no se conocían las dimensiones de esos siniestros.

Sin embargo, Raga Rasmussen destacó que dentro de los intentos por aplicar este tipo de conocimiento en casos concretos, sí se han encontrado algunas repuestas alentadoras, como la de la Comisión Federal de Electricidad que se ha interesado en que este grupo científico pueda

establecer los posibles escenarios de las torres de alta tensión en el sureste mexicano ante la llegada de huracanes.

El científico, cuyo proyecto de investigación *Explosiones atmosféricas del Popocatepetl* se encuentra en la lista de *Casos de Éxito de la Ciencia Mexicana*, elaborada por la Academia Mexicana de Ciencias, detalló que a través de estos cálculos se puede recrear escenarios posibles del comportamiento de una estructura rígida ante fuertes vientos.

El científico argentino hizo énfasis en que este tipo de cálculos se realizan a partir de una metodología utilizada por los astrónomos para medir el impacto de las explosiones de supernovas, es decir, donde se toman en cuenta la intensidad de la explosión y la propagación de las ondas de choque.

En el caso concreto del trabajo que se pretende realizar con la CFE, dijo, se verificaría el comportamiento de las torres de alta tensión ante el impacto de vientos que suben vertiginosamente de intensidad; con ello se analizaría cuánta presión reciben, cuánto logran estos aires desviar la estructura, y qué intensidad de vientos pueden resistir estas torres.

El investigador universitario recordó que hace cinco años, a partir del aumento de actividad del volcán Popocatepetl, él junto con un grupo de investigadores del Instituto de Astronomía y del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM se dieron a la tarea de emplear esas herramientas astronómicas para resolver problemas concretos en la Tierra.

“De hecho, las explosiones del volcán se parecen a las de las supernovas, porque son explosiones muy fuertes, con ondas de choque que se producen cuando explotan. La única diferencia es que el volcán está sobre la superficie terrestre, entonces el problema era hacer un cálculo tomando en cuenta esa situación, que una parte de la explosión sale a la atmósfera y la otra se impacta en el suelo”.

Frente a esa situación, detalló, se hicieron modelos para medir la propagación de las ondas de choque ante una explosión del Popocatepetl, dado que en comunidades cercanas al coloso éstas habían provocado vidrios rotos.

Aunado a ello, mencionó, se verificó el desplazamiento de las corrientes de aire caliente por las zonas aledañas al volcán, dado que esa situación le había provocado la muerte a algunas personas.

Esa información, indicó Raga, se terminó de elaborar hace unos meses y los resultados se entregaron a diversas autoridades de protección civil, con el fin de que pueda servir para evitar, en la medida de lo posible, daños y muertes ante una fuerte explosión del volcán.

Señaló que nuevamente se han dado a la tarea de poner en práctica ese conocimiento astronómico, pero ahora para medir las posibles velocidades, direcciones y distancias que pueden recorrer las rocas lanzadas por el Popocatepetl ante una fuerte explosión, lo cual podría servir, por ejemplo, para colocar los instrumentos de monitoreo del volcán fuera de las áreas de mayor riesgo.

Por Ricardo Cerón Plata

Academia Mexicana de Ciencias  
Noticia AMC/12/06  
México, D.F., lunes 20 de febrero de 2006

### **‘Es necesario revertir la centralización de la ciencia en México’**

Como reflejo de la situación general del país, uno de los más grandes problemas que enfrenta la ciencia en México es la centralización, por lo que es necesario contar con políticas de planeación que permitan un desarrollo menos desigual geográficamente, indicó René Drucker Colín, coordinador de la Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

El también ex presidente de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) puso como ejemplo de lo anterior el que las principales universidades del país –la UNAM, la Universidad Autónoma Metropolitana, el Instituto Politécnico Nacional y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados– estén en el Distrito Federal.

“Tan sólo en la UNAM se desarrolla el 50 por ciento de la investigación de todo el país, de lo cual estamos muy orgullosos, es muy bueno para nosotros, pero es algo terrible para el país”, señaló durante el primer día de trabajo del Taller para una agenda política en ciencia, humanidades y tecnología para el desarrollo integral y competitividad.

Drucker dio a conocer que en el área de ciencias físicas el 40.6 por ciento de los doctores se concentran en la capital del país, mientras que en ciencias biológicas la cifra es de 42.3 por ciento; 33.6 por ciento en agrociencias; 49.9 por ciento en ciencias de la

tierra; 55.1 por ciento en matemáticas; 51.7 por ciento en el área de ciencias químicas; en tanto que el área de medicina y ciencias de la salud el porcentaje se eleva a 66.1 por ciento.

Como reflejo de lo anterior, la producción científica en México padece de esta centralización, pues en todas las áreas del conocimiento más del 46 por ciento de los artículos son generados en el Distrito Federal, llegando en algunos casos hasta al 75.8 por ciento.

Octavio Paredes López, presidente de la AMC, dio un panorama general de la ciencia en México, haciendo hincapié en la poca inversión en el sector y en los últimos lugares en que recurrentemente se sitúa México en indicadores internacionales.

“Nos preocupa el estado actual de las cosas”, expresó Paredes. “Es por eso que tenemos que trabajar en reuniones como ésta para diseñar una mejor política científica en nuestro país”.

El taller es organizado por la AMC, la Coordinación de la Investigación Científica y la Coordinación de Humanidades de la UNAM, y se desarrollará los días 21 y 22 de febrero en Cuernavaca, Morelos, con la presencia de científicos provenientes de ocho países, como Argentina, Brasil, España, Estados Unidos e India.

“El objetivo es tomar recomendaciones para que la ciencia sea una palanca de desarrollo; recoger información y obtener opiniones de otros países, por supuesto, tomando en cuenta nuestro ámbito específico”, comentó a su vez René Drucker.

Durante su participación, Mari Carmen Serra Puche, coordinadora de Humanidades de la UNAM, lamentó que aunque en ciencias sociales y humanidades corresponde a la tercera parte de los miembros del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y que agrupe al 37.4 por ciento de los programas de doctorado del país, el apoyo financiero para estas áreas sea menor.

La científica informó que del total de proyectos de investigación financiados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, el 27 por ciento corresponde a físico-matemáticas y el 20 por ciento a químico-biológicas, mientras que en ciencias sociales y humanidades esta cifra se reduce a sólo el 11 por ciento. “Es casi ridículo”, dijo Serra Puche.

Mencionó que otro punto agudizado es la falta de internacionalización de los científicos de estas áreas, ya que sólo el 4 por ciento participa en proyectos con otras naciones.

Aclaró que esta asimetría no se debe a que los investigadores sociales no presenten proyectos a evaluación, sino que simplemente no se apoyan.

“La política pública deja mucho que desear y los esfuerzos en la materia han sido escasos y con una política errática”, aseveró.

Por ello, señaló la necesidad de cambiar los principios en que se sustentan las iniciativas para investigación, a fin de lograr un mayor equilibrio.

Finalmente, resaltó la pertinencia de crear un espacio, ajeno al Conacyt, en que los investigadores puedan incidir en la orientación de las políticas científicas; impulsar proyectos a largo plazo; desarrollar estrategias para la transferencia del conocimiento; incrementar el financiamiento privado en investigación, así como fomentar políticas y lineamientos para lograr una actualización permanente, entre otras.

Academia Mexicana de Ciencias  
Boletín AMC/16/06  
Cuernavaca, Mor., martes 21 de febrero de 2006

### **Delinean política científica mexicana para un mejor futuro**

Crear una política de Estado en materia de ciencia y tecnología que trascienda sexenios, para que se brinden los apoyos económicos suficientes en este rubro, sin importar los gobiernos en turno, fue la solicitud de diversos científicos mexicanos, quienes advirtieron que, de lo contrario, México podría quedar a la zaga del desarrollo económico mundial.

Durante una conferencia de prensa en la que se dieron a conocer las conclusiones del taller *Hacia una agenda política en ciencia, humanidades y tecnología para el desarrollo integral y la competitividad*, donde participaron científicos de ocho países, los investigadores nacionales afirmaron que sin desarrollo científico y tecnológico en el país difícilmente habrá mejores condiciones de vida para la población.

Al hablar de las conclusiones de este taller llevado a cabo por la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) los días 21 y 22 de febrero en Cuernavaca, los representantes de la comunidad científica resaltaron la importancia de que los candidatos a la Presidencia del país asuman dentro de su agenda de trabajo el tema de la ciencia y la tecnología,

para que quien sea electo jefe del Ejecutivo, cumpla con esos compromisos.

En ese sentido, René Drucker Colín, ex presidente de la AMC y coordinador de Investigación Científica de la UNAM, sostuvo que el próximo gobierno es la última esperanza que tiene México para volverse competitivo y alcanzar el desarrollo deseado en el plano internacional, por lo que es urgente que tenga en cuenta la importancia de apoyar la ciencia y la tecnología mexicanas.

El investigador universitario dejó en claro que la democracia no puede ser entendida sin equidad social, y sin el desarrollo de la ciencia y la tecnología no hay equidad social, por tanto, la investigación es la única manera de consolidar mayor oferta de empleos y mejor remunerados, como lo han demostrado los países del primer mundo.

Para Octavio Paredes López, presidente de la AMC, algo fundamental para lograr que mayores recursos económicos sean invertidos en ciencia y tecnología en el país es crear una cultura científica en la sociedad mexicana, para que después sea la misma sociedad la que presione al gobierno para destinar mayores recursos en ese sector.

El también investigador del Cinvestav Irapuato hizo énfasis en la necesidad de que, cada más, los científicos participen en la vida política mexicana, con el objetivo de poner en la agenda nacional los asuntos concernientes a este sector, y crear así una situación similar a la de España, donde personajes de la ciencia como Javier Solana o Federico Mayor Zaragoza, lograron los apoyos necesarios para impulsar la investigación.

En su oportunidad, investigadores y representantes científicos de la India, Estados Unidos, Holanda, España y China, coincidieron en señalar que la ciencia mexicana necesita mayores recursos económicos, un incremento en la participación de las mujeres y mejor vinculación con el sector industrial del país, quienes deben apuntalar aún más el despegue de esta área.

José Luis Martínez Peña, director general de Investigación del Ministerio de Educación y Ciencia de España, aseveró que México cuenta con grupos científicos muy buenos, pero también muy aislados, por su escaso número y la falta de mayores recursos económicos.

Al hacer referencia acerca de los objetivos que desean alcanzar los investigadores nacionales, Martínez Peña indicó que “los científicos mexicanos son muy entusiastas y

extremistas, quieren hacer volar un avión muy alto (el de la ciencia y la tecnología), pero para ello deben saber primero que necesitan combustible, una pista y una velocidad adecuada para hacerlo despegar”.

Sin embargo, exhortó a los diversos sectores sociales mexicanos así como a la iniciativa privada a no esperarse hasta que haya una gran crisis económica y social como la que hubo en España a finales de la década de los 70, para darse cuenta de que la ciencia y la tecnología son la palanca para alcanzar el bienestar de vida que quiere la población.

En tanto, Lawrence B. Coleman, vicedirector de Investigación de la Universidad de California, señaló la falta de inversión de la industria mexicana en materia de investigación, como uno de los principales problemas que enfrenta la ciencia mexicana, dado que mientras en Estados Unidos la mitad de los investigadores y de los estudios son pagados por la iniciativa privada, en México más del 80 por ciento lo absorbe el gobierno.

Los investigadores anunciaron que dentro de las conclusiones a las que se llegó dentro del taller realizado el 21 y 22 de febrero en Cuernavaca, Morelos, destacan: Fortalecer y expandir el sistema científico mexicano; reorganizar la gestión de los recursos; establecer

sistemas de rendición de cuentas, y analizar los criterios vigentes de asignación de recursos.

Asimismo, se requiere definir áreas prioritarias de investigación, orientadas a solucionar problemas sociales; incluir la ética como parte inherente a la actividad científica; descentralizar la ciencia, creando nuevas instituciones de educación superior y centros de investigación en varios estados de la República Mexicana, especialmente en campos prioritarios.

Además, las recomendaciones incluyen concientizar a la clase política y a la sociedad en general sobre el papel estratégico y determinante de la ciencia y la tecnología para el desarrollo de la democracia del país; aumentar la vinculación entre ciencia y empresa; considerar la perspectiva de género en la política científica a fin de incrementar la participación de la mujer en estas áreas; incentivar la inversión privada en investigación y desarrollo; aumentar el número de becas para estudiantes de posgrado y los montos asignados; combatir la fuga de cerebros.

Academia Mexicana de Ciencias  
Boletín AMC/17/06  
México, D.F., jueves 23 de febrero de 2006





# Publica o perece



## Tanques Pensantes



Se dedican a pensar lo impensable. Son los tanques pensantes. Se trata de “organizaciones no lucrativas que de manera independiente analizan diferentes asuntos de la política pública del gobierno, la de los partidos políticos y la de los intereses de aquellos grupos involucrados”, afirma Diane Stone.

Al decir “asuntos”, Stone se refiere a todas aquellas cosas visibles que son de interés público, así como a todas aquellas cosas que son pertinentes a la sociedad pero que ésta no ve porque son manejadas en lo “oscuro”. Así, lo que observa y lo que deduce, constituye el material con el que trabajan los tanques pensantes.

Sin duda esto tiene una importancia, pues por la calidad de sus miembros y el reconocimiento obtenido, según refiere Andrew Rich en su tesis de doctorado de Yale (“Tanques pensantes, política pública, y la política de los expertos”), un tanque pensante puede llegar a adquirir un notable “poderío y una creciente influencia en la política pública”. Son capaces de modelar el sentido de la política y de reorientar el rumbo de la sociedad, escribió a su vez Michael Warder en “El papel de los tanques pensantes en el moldeado de la política pública”.

El primer tanque pensante fue la Sociedad Fabian, fundada en Inglaterra en 1884. La idea que prevalecía sobre estas organizaciones se dispersó lentamente, y no se hizo común sino hasta después de 1970.

En los países soviéticos proliferó una modalidad de tanques pensantes para analizar cada paso que daban los gobiernos de los países occidentales, pero nada más lo hacían hacia fuera; hacia adentro no tenían posibilidades de autoanalizarse. Por su parte, en los países subdesarrollados, gobernados por dictaduras militares o de partido, no sólo se impidió el florecimiento de los tanques pensantes, sino que los pensadores críticos fueron reprimidos, perseguidos y aniquilados. Eso sucedió prácticamente en toda América Latina, desde México hasta la Argentina.

Hay tanques pensantes permanentes, donde sus integrantes constituyen centros de estudios y allí se la viven y de allí obtienen sus salarios para pasarla; y tanques pensantes que periódicamente convocan a expertos escogidos, para reunirse y discutir ciertos temas, y cuyos servicios de consultoría son contratados por semanas o meses.

Ideológicamente, los tanques pensantes pueden ser de cualquier tendencia: conservadores, liberales, de izquierda, de derecha, etc. Los temas a tocar pueden ser tan amplios como el de la globalización o tan puntuales como el de la clonación de embriones humanos para uso terapéutico, pasando por aspectos de filosofía del medio ambiente o fundamentalismo islámico. Algunas organizaciones son fuentes de información objetiva, pero otras son fuentes de ideas políticas con sesgo.

Pero si se trata de organizaciones no gubernamentales y no lucrativas, ¿de donde obtienen los recursos económicos que les darán tranquilidad para que puedan dedicarse exclusivamente al análisis de políticas y problemas sociales? Puede ser de la venta de servicios de consultoría a políticos, partidos políticos o corporativos empresariales; del desarrollo de proyectos especiales; por donaciones realizadas por individuos, fundaciones u otras sociedades filantrópicas; y de la producción de publicaciones o programas para la radio o la TV, entre otras cosas. Aunque a veces los intereses de los donadores los pueden llegar a obligar a virar el rumbo de sus análisis.

En México son muy pocos los tanques pensantes que existen, pues es una nación donde poco se precia el valor de la información y menos aún la capacidad para generar conocimiento e ideas innovadoras. Es un país, como casi todos los de América Latina, donde los políticos y los que quieren ser políticos y los que tienen que vérselas con ellos, estiman que su “colmillo” es todo lo que necesitan para nadar en aguas infestadas de tiburones. Cuando mucho aspiran a que el cuate



de la infancia o de correrías los acompañe como “asesor”, que al final resulta en “hacedor” de otras cosas.

En los países desarrollados, que es donde este tipo de entidades abunda y donde se han hecho necesarias como *alter ego* de quienes juegan a la política, se da una dura lucha por la sobrevivencia, por producir la mejor información sobre algún tópico, por ganarle al otro los recursos, por ofrecer las más ingeniosas y proféticas ideas, por posicionarse ante los políticos y ante sus electores.

Daniel Levy hizo un estudio sobre los tanques pensantes en América Latina, y dice: “desafortunadamente no hay nada que se aproxime a una base de datos confiable” sobre este tipo de organizaciones. Una razón de peso que el encuentra, es que ni siquiera existe una definición de “tanque pensante” en español común a los latinoamericanos. A veces surge el desatino de llegar a creer que un club social o un asociación de profesionales o una camarilla de fin de semana, es un tanque pensante.

Los tanques pensantes son importantes en una sociedad porque airean los asuntos políticos –

de salud, de ambiente, de tributaciones, de seguridad, etc.-, y llegan a constituirse en una base importante de los procesos de democratización, en una salvaguarda para que la apertura democrática se continúe dando. Y no sólo en lo que se refiere a la entidad gubernamental íntegra, sino también en algunos de sus componentes estructurales.

Para tener una fugaz idea de lo que pasó en México por más de medio siglo, y teniendo presente que los tanques pensantes se constituyen por intelectuales, debemos de recordar que muchos casos de intelectuales mexicanos notables pasaron casi toda su vida productiva al servicio del gobierno. Esto los “obligó” a voltear la cara ante la innumerable cantidad de momentos críticos por los que pasó la sociedad mexicana.

Lo único que se logró con eso fue retardar el proceso de democratización, tierra que fue abonada por intelectuales de izquierda que en su momento fueron perseguidos, encarcelados y hasta desaparecidos.

En la actualidad, los tanques pensantes que hay en México, están concentrados en el Distrito Federal. Poco se ha hecho por fomentar su desarrollo en los estados del país.

“Los tanques pensantes observan y promueven las políticas que moldean la vida diaria: desde la privatización de la seguridad social, las leyes de impuestos e inversiones, la regulación de cualquier cosa desde el petróleo hasta el Internet. Ellos proveen de expertos que testifican con artículos en páginas editoriales o aparecen en la TV como comentaristas. Ellos asesoran a los aspirantes presidenciales y dirigen los seminarios de orientación para entrenar a los nuevos miembros del Congreso.” Rampton & Stauber, 2001.



Ahora sí, señores, ya que tenemos puestos nuestros cascos pensantes, continuemos.

**El ritmo de crecimiento de China puede ser fatal para el planeta**

Washington, 6 de enero. El actual ritmo de crecimiento económico de China podría ser fatal para el planeta si Pekín y el resto del mundo no modifican rápidamente su modelo de producción y de consumo, advirtió el jueves pasado un especialista en asuntos del medio ambiente.

"Nuestra economía mundial depende de una base medioambiental que el planeta no puede soportar", declaró Lester Brown, presidente de Instituto de Políticas para la Tierra de Washington al presentar su reciente libro *Plan B 2 para salvar un planeta estresado y una civilización en peligro*.

"Lo que pasa en China debería empezar a convencer a los economistas de la necesidad de reestructurar el sistema económico", estimó.

Según cifras recopiladas por su instituto, los chinos consumen actualmente dos veces más carne que los estadounidenses (67 millones de toneladas contra 39), y más del doble de acero (258 millones de toneladas contra 104).

*Imitación de occidente*

Si China sigue imitando el *sueño americano*, de aquí a 2031 sus previstos 1.45 mil millones de habitantes consumirán el equivalente a dos tercios de la actual producción mundial de cereales, y más del doble de la actual producción mundial de papel. A este ritmo, se "acabarán los bosques del planeta", subrayó Brown.

El modelo económico occidental -basado en energías fósiles, y construido en torno a automóviles y productos desechables- no podrá funcionar en China ni en India, cuya población podría sobrepasar a China en 2031, insistió.

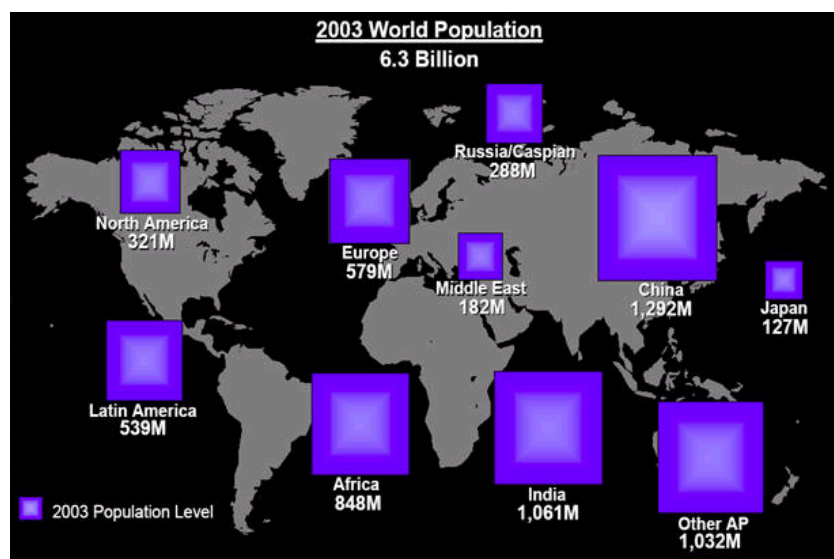
En momentos de globalización y de competencia desenfrenada para producir cada vez más artículos a precios más competitivos, el modelo actual llevará al mundo a su fin.

Por eso es necesario reestructurar de inmediato la economía mundial para sostener nuestra civilización y hacer un esfuerzo general para erradicar la pobreza y recuperar los medios naturales, según el "Plan B" de Lester Brown.

El especialista hizo notar algunas señales alentadoras de China, donde la presión para actuar en favor de la eficacia energética y la protección del medio ambiente parece haber tomado un matiz político.

"Ellos (los chinos) comienzan a reconocer que deben llevar a cabo modificaciones, pero todavía no han dicho en público que no usarán el modelo occidental", dijo Brown, invitado a presentar sus opiniones en el foro económico mundial que se celebrará en Davos, Suiza, a finales de enero.

Según Brown, cinco de las ocho mayores



empresas chinas de productos electrónicos y tecnología aeroespacial ya anunciaron su apuesta por la energía eólica, pisándole así los talones al gigante estadounidense General Electric.

Además, los chinos también "adoptaron normas de eficacia para el consumo de combustible en automóviles", dijo Brown, al agregar que Pekín se interesa cada vez más en la contaminación del aire y del agua.

El aumento de la explotación de fuentes de energía renovable deberá hacerse con inteligencia, según Brown, para evitar la escasez de productos alimenticios y el aumento de sus precios, en caso de que los agricultores deban adoptar masivamente la producción de etanol, un biocombustible a base de cereales, señaló como ejemplo.

La Jornada. 7 de enero de 2006

## En auge, la adicción a la Internet, el nuevo problema siquiátrico

Los Ángeles. Un 10 por ciento de los 189 millones de usuarios de la Internet en Estados Unidos sufren de adicción a su equipo de cómputo.

Un grupo cada vez mayor de profesionales de la salud mental en Estados Unidos ha señalado el surgimiento de un nuevo problema siquiátrico, equiparable al alcoholismo, el abuso de las drogas y el juego compulsivo: el desorden de adicción a la Internet.

Un empleado de oficina debe concentrarse en su trabajo cotidiano, pero pasa muchas y valiosas horas jugando fútbol americano de fantasía en la computadora. Un ejecutivo tiene tanto apego por su Blackberry que lo último que hace antes de acostarse es consultarla, y vuelve a hacerlo en el momento mismo en que abre los ojos al día siguiente.

Algunas personas pasan tanto tiempo en línea que dejan de salir a la calle, sus matrimonios se arruinan y se sienten abrumadas por la depresión y los sentimientos suicidas.

Según estimaciones citadas por *The New York Times*, se puede decir que hasta 10 por ciento de los 189 millones de usuarios de la Internet en Estados Unidos son adictos a sus computadoras y dispositivos de mano. Otros profesionales no están tan seguros; se preguntan si la adicción a la Internet no es sino una nueva plataforma para otras patologías como el juego o la obsesión por la pornografía, y descartan la idea de la Internet como una nueva fuga.

Otros aún no se deciden a categorizar el problema. La revisión obsesiva del correo electrónico ¿entra en la misma categoría que gastar múltiples horas cada día jugando EverQuest y cualquier otro juego de la red? ¿Enviar mensajes instantáneos es tan dañino como los juegos de apuesta en línea? ¿Las charlas sexuales con extraños en los salones de chat para adultos son un problema conyugal tan serio como la infidelidad sexual?

Hilarie Cash, directora de los Servicios para Adicción a la Internet y la Computadora en la ciudad de Redmond, a las afueras de Seattle -

hogar de Microsoft-, ha identificado una corriente química específica -un flujo alto de dopamina- generada por los juegos, e incluso por algo tan sencillo como recibir un *e-mail*. Declaró al *New York Times* que ha visto múltiples casos de ansiedad y depresión en sus pacientes.

Otros pioneros en el campo han desarrollado programas de 12 pasos para arrancar a las personas de la adicción a estar en línea, o creado grupos de *ciberviudas* para las esposas de adictos que tienen "aventurillas" en la red.

Una de las muchas definiciones del desorden de



adicción a la Internet, propuesta por Jennifer Ferris, sicóloga de Virginia, apunta a siete signos reveladores, entre ellos una sed de pasar más tiempo en línea; temblor o incluso movimientos involuntarios de los dedos cuando el usuario está lejos de la computadora, disfunciones en las relaciones cotidianas con amigos y compañeros de trabajo y, en casos extremos, pérdida del empleo o del matrimonio.

Por lo general la Internet está en ascenso. Un informe del proyecto Pew sobre Internet y la vida en Estados Unidos, realizado el verano pasado, descubrió que más de la mitad de los adolescentes del país se conectan día a día, en comparación con 42 por ciento hace cinco años.

Y sus impactos económicos negativos comienzan a cuantificarse. La firma consultora empresarial Challenger, Gray & Christmas

calculó en fecha reciente que sólo el futbol americano de fantasía costaba a los empleadores estadounidenses 200 millones de dólares en competitividad perdida cada temporada.

© The Independent. Andrew Gumbel.  
Traducción para La Jornada: Jorge Anaya.  
Jueves 12 de enero de 2006

### Compromiso *light* contra la contaminación

Sydney, 13 de enero. Seis de los mayores países contaminadores cerraron el jueves un encuentro sobre el clima con un compromiso multimillonario para desarrollar energías limpias, aunque dijeron que los combustibles fósiles seguirán sosteniendo sus economías durante generaciones. Grupos ecologistas, que calificaron de farsa las conversaciones de los seis países sobre el cambio climático, dijeron que el dinero era simbólico y que el encuentro de dos días no había logrado compromisos serios para luchar contra el calentamiento global. En un comunicado, los seis países no fijaron ningún objetivo para reducir la emisión de gases con efecto invernadero.

#### *Papel del sector privado*

En su lugar, subrayaron la necesidad de que las empresas ayuden a encontrar fórmulas para recortar las emisiones sin perjudicar los combustibles fósiles o la creciente demanda de energía, sobre todo en China e India. "Es reconocer que el sector privado es el que toma las decisiones de inversión en todos los países", dijo el secretario de Energía de Estados Unidos, Sam Bodman. El encuentro reunió a Estados Unidos, China, Japón, India, Corea del Sur y Australia, que unidos representan casi la mitad de los gases con efecto invernadero emitidos en el mundo. La reunión supuso además la inauguración de la Coalición Asia Pacífico sobre el Desarrollo y el Clima Limpios, que los seis crearon como forma alternativa de luchar contra el problema climático al margen del Protocolo de Kyoto, al centrarse en la tecnología de energías limpias. Un objetivo de la alianza es convencer a la industria de que impulse el desarrollo e instalación de energía más limpia, que reduzca el dióxido de carbono y otros productos derivados de la quema de combustibles fósiles que están calentando la atmósfera y amenazando con el caos climático. Algunas compañías mineras y energéticas se comprometieron a mejorar su eficacia.

Reuters. La Jornada. 14 de enero de 2006.

### Admite médico noruego haber falseado información para revistas científicas

AFP. Oslo, 23 de enero. Un médico noruego acusado de haber falseado sus investigaciones sobre el cáncer de la boca para un artículo en *The Lancet* reconoció también haber cometido fraude en sus contribuciones a otras revistas científicas internacionales, dijo su abogado, citado por la prensa del lunes.

Jon Sudboe, médico del Centro de Tratamiento del Cáncer de Oslo, no sólo reconoció haber hecho trampa para documentar los trabajos publicados por la prestigiosa revista médica británica *The Lancet* -hechos por los cuales ya es sospechoso oficialmente-, sino también en otros dos artículos, uno en *The New England Journal of Medicine* y otro en *The Journal of Clinical Oncology*.



"El indicó (...) que además del artículo de *The Lancet*, otros dos contenían informaciones o conclusiones que no tienen fundamento", declaró su abogado, Erling Lyngtveit, al diario *Arftenposten*.

Sudboe, que pidió un permiso por enfermedad, es investigado actualmente por la administración de hospitales, así como por una comisión independiente encargada por su empleador.

El caso de un científico surcoreano, Hwang Woo-suk, que fuera considerado como "un pionero de la clonación", conmocionó recientemente a la comunidad científica.

La comisión de nueve miembros de la Universidad Nacional de Seúl, donde trabajaba este investigador, concluyó que las líneas de células madres que el doctor Hwang afirmó, en 2004, haber extraído de un blastocito producido por clonación, "no había salido de un embrión humano obtenido por clonación".

El equipo surcoreano había anunciado en febrero de 2004 que logró extraer una colonia de células embrionarias a partir de unos 20 blastocitos humanos, formados por clonación.

El doctor Hwang, antes adulado en todo el país, renunció en diciembre pasado a su puesto en la universidad y en el ministerio de Ciencias y Tecnología, presentó sus excusas y precisó que ya no recibirá el apoyo del Estado.

La Jornada. 24 de enero de 2006

### En los ensayos científicos perviven también miedo, envidia y rivalidad

Los científicos las llaman "literatura", pero las revistas y gacetas en que anuncian sus descubrimientos *barren* supuestamente cualquier artificio literario. Se supone que la escritura científica es objetiva: nada de paja, adornos o estilos personales. Comparada con otras formas de escritura es, según describe un crítico de *The New York Times*, "novocaina literaria".

Resulta fácil ver por qué la gente lo cree así. Cuando los estudiantes de ciencias aprenden a exponer por escrito sus experimentos se les dice que deben organizar su trabajo bajo los encabezados de Método, Resultados y Discusión. Para expresar objetividad se aconseja el uso del impersonal: "se hizo tal y cual cosa", no "hicimos tal o cual cosa".

Pero la verdad es muy diferente. En un análisis más profundo, los ensayos científicos acaban por contener subtextos que muestran la parte más humana de los científicos. Los escritos delatan esperanzas y miedos, sentimientos de júbilo o de posible intranquilidad ante los descubrimientos. También revelan envidias y rivalidades, e indicios de las maniobras que sus autores utilizan para ser los primeros en proclamar un descubrimiento o disfrazar la falta de información sobre el logro anunciado. Nada malo para una escritura que debe ser desapasionada.

Una de las citas más famosas de la literatura científica moderna proviene de un trabajo de

James Watson y Francis Crick (1953), que describe por primera vez la estructura de doble hélice del ADN: "No escapa a nuestra atención que el apareamiento específico que hemos postulado sugiere un posible mecanismo de copia del material genético."

Esta aseveración humorística, con su elaborada construcción negativa, rompe las reglas, pero cuando se ha descubierto el secreto de la vida, quizá puede perdonarse el entusiasmo excesivo.

En el libro *Hallazgos: historias ocultas en relatos de protagonistas de descubrimientos científicos* contemplamos una docena o más de hitos científicos -o de supuestos hitos- del siglo XX.

Aquí los escritores se muestran desesperados por lograr que la gente los vea como héroes de sus historias. Así, con enorme descaro, Watson y Crick escriben "hemos postulado..." en el

punto crítico de su ensayo, donde orientan la atención hacia las implicaciones de una molécula de doble hélice que se duplica a sí misma.

Thomas Morgan, el zoólogo estadounidense que en 1910 crió moscas de la fruta de ojos rojos y blancos, y descubrió el vínculo entre sexo y herencia, puso a las

moscas en el centro al principio de su relato. Parecía un cuento de hadas, en el que un "monstruo" de ojos blancos aparecía en una población de moscas de ojos rojos. Morgan esperó hasta la conclusión para ponerse en el centro con un primer "yo". En ambos casos la estrategia sirve al autor, pues refuerza la conexión del lector por el descubrimiento y el descubridor.

El físico británico James Chadwick ocupó 700 palabras para anunciar el descubrimiento del neutrón (1932). Sin embargo, su ensayo está lleno de expresiones que glorifican la ciencia empírica británica en detrimento de sus rivales franceses, Irene y Frederic Joliot-Curie, admiradores de la teoría cuántica. Esto refleja la convicción nacida en el Laboratorio Cavendish (Universidad de Cambridge), donde Chadwick trabajó bajo las órdenes de Rutherford, de que los neutrones eran partículas parecidas a bolas de billar. Los franceses estaban convencidos de



Freud estudiando a Freud. M. Collins.

que eran etéreos "rayos de hidrógeno". Chadwick se burla con sutileza de este vago concepto en su ensayo, e incluso consigna mal el nombre de sus rivales.

En su conclusión, escribe: "Hasta hoy todas las pruebas están en favor del neutrón, mientras la hipótesis cuántica sólo puede sostenerse si se abandonan los principios de conservación de la energía y el impulso". Al poner al mismo nivel la posibilidad de perder dos de las grandes piedras angulares de la física, Chadwick nos persuade con habilidad de que tiene la razón.

#### *Los errores*

Al examinar los textos científicos también se pueden descubrir errores. En 1996 David McKay, geólogo del Centro Espacial Johnson de la NASA, y un equipo multidisciplinario, atrajeron la atención con un anuncio: pruebas de vida fósil encontradas en un meteorito marciano que había caído en la Antártida. La NASA organizó una conferencia en la que habló su director, Dan Goldin, y el presidente William Clinton. Pero el tono empleado en esta ocasión fue más seguro que el del ensayo original, publicado en el *American Journal of Science*.

En contraste con la escritura estilizada de Morgan, Chadwick o Watson y Crick, el ensayo de McKay y sus colegas es farragoso y vago. Carecía de la bravura que asoma en un anuncio en verdad grande. El reclamo de haber encontrado vida fósil en Marte sigue en disputa.

El equipo de McKay basa su descubrimiento de que hubo vida en Marte en que el meteorito contenía glóbulos carbonatados, es decir, carbonatos idénticos químicamente al yeso o piedra caliza formados en la prehistoria; moléculas de hidrocarburos similares a las que se encuentran en combustibles fósiles, y minerales magnéticos.



Watson y el DNA. M. Collins.

El centro del asunto es la temperatura a la que se forman los carbonatos. Algunos científicos dicen que se forman a altas temperaturas. McKay se inclina por la formación a bajas temperaturas, pero no tenía evidencia. Luego se vio obligado a escribir: "Si los glóbulos son productos de actividad biológica, la formación a bajas temperaturas sería lo indicado". Este fue su error.

El argumento es un falso silogismo; en otras palabras, es circular. El verdadero silogismo sería: los glóbulos se forman a bajas temperaturas, las bajas temperaturas favorecen la vida, por tanto, la presencia de glóbulos respalda la evidencia de vida. Sin embargo, como no puedo afirmar que los glóbulos se formaban a bajas temperaturas utilizó otra premisa: "Los glóbulos son producto de actividad biológica".

#### *Prosa científica*

Este análisis se desprende de la lectura cuidadosa de los ensayos científicos. Pero con un poco de perspectiva histórica, las cosas se ponen peor.

Resulta que McKay y su equipo cometieron el mismo error que otro estudioso de la vida en Marte. Un siglo antes, Percival Lowell, astrónomo aficionado, vio los "canales" de Marte, localizados antes por Giovanni Schiaparelli, y anunció que eran evidencia de vida civilizada. También usó el argumento circular. Partiendo de la noción de civilización en Marte, argumentó que los marcianos requerirían irrigación para traer agua de los polos congelados, y eso explicaba la existencia de los canales.

La verdad científica requiere tiempo para consolidarse, y la nueva ciencia es siempre motivo de disputa. Para convencer, los científicos deben exponer sus argumentos como vendedores o políticos: con pericia retórica.

La mayoría no lee la naturaleza como lee las reseñas literarias. Pero los ensayos científicos no son opacos. Usan el mismo lenguaje que todos, y aun cuando los detalles no se entienden de inmediato, podemos entrever los elementos del científico cuando expone su caso. Al hacerlo evaluamos por nosotros mismos los méritos de la argumentación.

© The Independent. Hugh Aldersey.  
Traducción: Jorge Anaya. La Jornada. 1 de febrero de 2006