



# 1<sup>er</sup> Taller de Ciencia para Jóvenes Campeche 2013



# Primer Taller de Ciencia para Jóvenes Campeche 2013

## Libro de trabajo y antología

Compilador: Dr. Yuri Jorge Peña Ramírez

Campeche, Campeche. Julio de 2013



# Índice

Comité Organizador	4
Instituciones Participantes	5
Programa del Taller	6
Talleristas	7
Maestros	9
Material de los cursos	9
Antropología	10
Astronomía	44
Biología	45
Ecología	63
Matemáticas	100
Bioquímica	106
Gente y Cultura	115
Lombricultura	143
Metagenómica	144
Sistemas Dinámicos	149
Tiburones	150
Notas	179



# Comité organizador

## El Colegio de la Frontera Sur

**Dra Esperanza Tuñon Pablos.** Directora General

**Dra. Griselda Escalona Segura.** Directora de la Unidad Campeche

**Dr. Yuri Jorge J. Peña Ramírez.** Coordinador General del Taller

**M en C. Luvia Padilla Rebolledo.** Difusión y Vinculación

**CP. Jorge Estrada López.** Administrador de la Unidad Campeche

## Fundación Pablo García

**Lic. Ricardo Medina Farfán** Director General

**Lic. Jorge Esquivel Ruiz.** Director Académico

**LAE Carlos Alberto Castillo Ruiz.** Director Administrativo

**Lic. Javier González Pérez.** Director de Seguimiento de Becarios

## Fundación Avanza Campeche

**Lic. Eduardo Valdez Hernández.** Presidente del Consejo Directivo

**Ing. Mario Pavón Carrasco** Director Ejecutivo

**CP. Francisco Castilla Goyta.** Presidente del Comité de Becas

# Instituciones participantes



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



# Programa del Taller.

Horario	Domingo 28 de Julio	Lunes 29 de Julio	Martes 30 de Julio	Miércoles 31 de Julio	Jueves 1 de Agosto	Viernes 2 de Agosto	Sábado 3 de Agosto
07:00	Llegada al hotel sede / "aduana de entrada"	Despertarse					Despertarse
07:45		Transporte al Ecosur					
08:30		Desayuno					
09:00		Curso 1					Desayuno en el Hotel
11:00		Almuerzo					
11:30		Curso 2					Regreso a casa / "aduana de salida"
13:30		Descanso					
14:00		Comida					
15:00		Visita UAC Fac Ingeniería	Curso 3	Tarde Cultural	Feria de licenciaturas	Curso 4	
17:30			Transporte al Hotel		Panel de empresarios	Evaluación del Taller	
18:00	Actividades lúdicas			Clausura			
19:00	Sesión Rompe Hielo / Inauguraciones	Cena en el Hotel				Transporte al Hotel	
20:00		Cena en el Hotel				Transporte al Hotel	
23:00	Se apaga la luz	Se apaga la luz				¡Cena y fiesta de despedida!	



# Talleristas

Ruiz Argon	Ake Caamal	<a href="mailto:barsa_akaamal96@hotmail.com">barsa_akaamal96@hotmail.com</a>	CONALEP Dzitbalchen
Alfonso Antonio	Arciga Suárez	<a href="mailto:bodo_arciga@hotmail.com">bodo_arciga@hotmail.com</a>	EMSAD 19
Karla Sarai	Arroyo Heredia	<a href="mailto:princessfasti@hotmail.com">princessfasti@hotmail.com</a>	Colegio
Sebastian	Buenfil Pinzón	<a href="mailto:sebupi@outlook.com">sebupi@outlook.com</a>	Hispanoamericano
Gloria Guadalupe	Camas Escudero	<a href="mailto:gly_Kamas2596@hotmail.com">gly_Kamas2596@hotmail.com</a>	Colegio Fray Angelico
Enrique Ernesto	Canche Mucul	<a href="mailto:enercamu_2@hotmail.com">enercamu_2@hotmail.com</a>	EMSAD 19
Irina	Che Madero	<a href="mailto:irina-che@hotmail.com">irina-che@hotmail.com</a>	Preparatoria UAC
Guillermo Adrian	Chin Canche	<a href="mailto:guillermo.12345@hotmail.com">guillermo.12345@hotmail.com</a>	CBTA 15
Miguel Ángel	Coh Ucan	<a href="mailto:mig_angel15@hotmail.com">mig_angel15@hotmail.com</a>	Instituto Campechano
Diego Fernando	Cohuo Huichin	<a href="mailto:diegoextremo@live.com.mx">diegoextremo@live.com.mx</a>	EMSAD 1
Rafael	Cruz Rafael	<a href="mailto:r2cruz_nati@hotmail.com">r2cruz_nati@hotmail.com</a>	EMSAD 08
Geisi Gabriela	Durán Che	<a href="mailto:geizha_77@hotmail.com">geizha_77@hotmail.com</a>	EMSAD 14
Emmanuel			EMSAD 11
Alejandro	García Villatoro	<a href="mailto:eagv1996@gmail.com">eagv1996@gmail.com</a>	Preparatoria UAC
Darely del Carmen	Gómez Aguilar	<a href="mailto:panda-pantera@hotmail.com">panda-pantera@hotmail.com</a>	CETIS 20
Ángel Osvaldo	González González	<a href="mailto:osvaldo_glez2@hotmail.com">osvaldo_glez2@hotmail.com</a>	Preparatoria UAC
Lucero	Hernández		
Rosa María	Gerónimo	<a href="mailto:dulcinea_96.yo@hotmail.com">dulcinea_96.yo@hotmail.com</a>	EMSAD 11
Guadalupe Isabel	Hernández Pérez	<a href="mailto:flica.hdez_@hotmail.com">flica.hdez_@hotmail.com</a>	EMSAD 11
Marco Antonio	Huicab Guzmán	<a href="mailto:geminiz_angel_13@hotmail.com">geminiz_angel_13@hotmail.com</a>	EMSAD 02
Laura Verónica	Jiménez Méndez	<a href="mailto:warriar_219@hotmail.com">warriar_219@hotmail.com</a>	COBACH 2
Carlos Iván	Juan López	<a href="mailto:laury_sonrisa95@hotmail.com">laury_sonrisa95@hotmail.com</a>	EMSAD 06
Rodney Rodrigo	López González	<a href="mailto:carlos-22-96@live.com.mx">carlos-22-96@live.com.mx</a>	CONALEP Campeche
Katia	Madrid Sánchez	<a href="mailto:rodrigo_96_madrid@hotmail.com">rodrigo_96_madrid@hotmail.com</a>	COBACH 09
Belisario	Martínez Coca	<a href="mailto:katia_96angelita@hotmail.com">katia_96angelita@hotmail.com</a>	CONALEP Playa Norte
Karla Alejandra	Martínez Martínez	<a href="mailto:belis.rio@hotmail.com">belis.rio@hotmail.com</a>	EMSAD 08
Yadira Lizbeth	Mena Suárez	<a href="mailto:krla_mesu@hotmail.com">krla_mesu@hotmail.com</a>	EMSAD 19
Alexis	Mercado Lázaro	<a href="mailto:lyzbethlazaro@gmail.com">lyzbethlazaro@gmail.com</a>	EMSAD 21
	Muñoz Rosario	<a href="mailto:munoz-007@hotmail.com">munoz-007@hotmail.com</a>	EMSAD 12
Gabriela Jahdai	Pérez Vázquez	<a href="mailto:lokaeskisofrenika_93@hotmail.com">lokaeskisofrenika_93@hotmail.com</a>	Colegio
Pablo Eduardo	Reyes Celaya	<a href="mailto:pablis971@hotmail.com">pablis971@hotmail.com</a>	Hispanoamericano
Heydi	Reyes Copó	<a href="mailto:heydi_cool@hotmail.com">heydi_cool@hotmail.com</a>	COBACH 02
Isaias	Roca Hernández	<a href="mailto:chiva_rock7@hotmail.com">chiva_rock7@hotmail.com</a>	CONALEP Playa Norte
Jonatan Josue	Romero Domínguez	<a href="mailto:jhon_rd95@hotmail.com">jhon_rd95@hotmail.com</a>	CONALEP Playa Norte
Roxana Guadalupe	Salazar Pérez	<a href="mailto:rgsp1997@hotmail.com">rgsp1997@hotmail.com</a>	CETIS 20
Valeria Guadalupe	Sonda May	<a href="mailto:anime_narusaku@hotmail.com">anime_narusaku@hotmail.com</a>	COBACH 02
			Preparatoria UAC



Mitchell Antonio	Torres Ek	<a href="mailto:naruto_kakashi1990@hotmail.com">naruto_kakashi1990@hotmail.com</a>	COBACH 09
Juan Carlos	Torres Mendoza	<a href="mailto:juantorres175@gmail.com">juantorres175@gmail.com</a>	EMSAD 16
Susana de Jesús	Vásquez García	<a href="mailto:susana_dejesusvasquez@hotmail.com">susana_dejesusvasquez@hotmail.com</a>	EMSAD 16
María José	Victoria Mora	<a href="mailto:florellacamp@hotmail.com">florellacamp@hotmail.com</a>	CBTIS 9
Isis Abril	Villanueva Arciga	<a href="mailto:arca_ga@hotmail.com">arca_ga@hotmail.com</a>	EMSAD 19
Joel Alejandro	Zapata Pérez	<a href="mailto:alejandro_joel_96@hotmail.com">alejandro_joel_96@hotmail.com</a>	CETIS 20



# Maestros

Antropología	Francisco D.	Gurri García	<a href="mailto:fgurri@ecosur.mx">fgurri@ecosur.mx</a>
Astronomía	Héctor	Bravo Alfaro	<a href="mailto:hector@astro.ugto.mx">hector@astro.ugto.mx</a>
Biología	Miguel Ángel	Martínez Morales	<a href="mailto:mmartinez@ecosur.mx">mmartinez@ecosur.mx</a>
Ecología	Alejandro	Morón Ríos	<a href="mailto:amoron@ecosur.mx">amoron@ecosur.mx</a>
Matemáticas	Gil	Bor	<a href="mailto:gil@cimat.mx">gil@cimat.mx</a>
Sistemas Dinámicos	Joaquin	Escalona Segura	<a href="mailto:joaquin@uaem.edu.mx">joaquin@uaem.edu.mx</a>
Gente y Cultura	Alba Rocío	Valdez Tah	<a href="mailto:avaldez@ecosur.edu.mx">avaldez@ecosur.edu.mx</a>
Bioquímica	Yuri Jorge	Peña Ramírez	<a href="mailto:ypena@ecosur.mx">ypena@ecosur.mx</a>
Tiburones	Juan Carlos	Pérez Jiménez	<a href="mailto:jperez@ecosur.mx">jperez@ecosur.mx</a>
Metagenómica	Aileen	O'Connor Sánchez	<a href="mailto:aileen@cicy.mx">aileen@cicy.mx</a>
Lombricultura	Esperanza	Huerta Lwanga	<a href="mailto:ehuerta@ecosur.mx">ehuerta@ecosur.mx</a>

# Monitores

Alba Rocío	Valdez Tah	<a href="mailto:avaldez@ecosur.edu.mx">avaldez@ecosur.edu.mx</a>	9811376063
Elías	Pérez Canto	<a href="mailto:eliasperezcanto@hotmail.com">eliasperezcanto@hotmail.com</a>	9811166677



# Material de los Cursos

# Antropología

Instructor: Dr. Francisco Gurri García

El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Campeche

Email: [fgurri@ecosur.mx](mailto:fgurri@ecosur.mx)

Página web: <http://bdi.ecosur.mx/personal/informaciongeneral.aspx?ID=GurriFrancisco>





Presentación .....	1
Introducción a la Antropometría .....	2
Descripción, instalación y uso adecuado de los instrumentos de medición .....	3
Condiciones generales para la toma de las mediciones antropométricas .....	4
A) Requisitos para la toma de las mediciones antropométricas .....	4
B) Plano anatómico para la toma de mediciones antropométricas .....	4
C) Condiciones generales para la toma de pliegues cutáneos .....	5
D) Condiciones generales para la toma de las circunferencias .....	5
Medición del peso .....	6
Medición de la estatura .....	6
Medición de circunferencias .....	7
A) Circunferencia Media de brazo .....	7
B) Cintura .....	7
C) Cadera .....	8
Medición de pliegues cutáneos .....	9
A) Pliegue Bicipital .....	9
B) Pliegue Tricipital .....	10
C) Pliegue Subescapular .....	10
D) Pliegue Suprailíaco .....	11
E) Pliegue de pierna .....	11
Impedancia bioeléctrica .....	12
Guía para el Análisis de Antropometría ...	13
Apéndice	

## Presentación

La elaboración de este manual tiene como objetivo, además de los conocimientos que aporta sobre el tema de la antropometría, el ser utilizado como una propuesta didáctica alternativa. La realización de un curso de antropometría ha sido una excelente oportunidad para conocer nuevas opciones didácticas para el proceso de enseñanza-aprendizaje. Dentro de esta actividad, el profesor se convirtió en un coordinador del grupo y posteriormente se transformó en parte activa y receptiva del mismo.

Para llevar a cabo esta propuesta, se requiere que las relaciones que se establezcan dentro del grupo sean de manera dinámica y horizontal, creándose así una responsabilidad en el ámbito del aprendizaje de forma compartida y colectiva; que permite la fusión del conocimiento del coordinador con el aprendizaje y la práctica de los alumnos.

Esta alternativa didáctica, que se concretó en la elaboración del **Manual de Antropometría**, se desarrolló de la siguiente manera:

- El profesor expuso el tema "Antropometría y Estandarización como técnicas de investigación".
- Los alumnos registraron en sus notas la exposición del profesor.
- El profesor hizo una demostración de las diferentes técnicas antropométricas.
- Los alumnos hicieron un registro de las técnicas antropométricas.
- El profesor coordinó una práctica entre los alumnos para utilizar dichas técnicas.
- Los miembros del grupo (profesor y alumnos) realizaron prácticas de medición antropométrica unos a otros.

## Índice

- Los miembros del grupo eleboraron una propuesta para la estructura del curso.
- Los miembros del grupo elaboraron una síntesis de los aspectos más importantes de éste.
- Los miembros del grupo estructuraron un manual sobre las técnicas de antropometría practicadas durante la capacitación.

En las dos semanas de duración del curso, se pudo notar que, día con día, los alumnos hacían suyos los conocimientos del tema. Así, cada integrante del grupo se fue convirtiendo en parte de un equipo con el fin de compartir la nueva experiencia aprendida.

Al final del proceso, se logró la formación de nuevos capacitadores para la toma de las medidas antropométricas; y todo el conjunto de actividades se materializó en la realización de este manual y en un video elaborado por los miembros del equipo de trabajo.

## Introducción

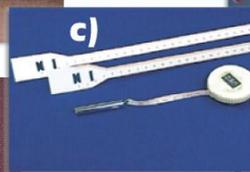
La antropometría se ocupa de la medición de las variaciones en las dimensiones físicas y la composición del cuerpo humano a diferentes edades y en distintos grados de nutrición. Las mediciones antropométricas más comunes tienen por objeto determinar la masa corporal expresada por el peso, las dimensiones lineales como la estatura, la composición corporal y las reservas de tejido adiposo y muscular, estimadas por los principales tejidos blandos superficiales: la masa grasa y la masa magra. Es indudable que las magnitudes físicas del cuerpo están determinadas por varios factores entre ellos la nutrición, particularmente en la etapa de crecimiento rápido de la primera infancia. Por consiguiente, determinados índices antropométricos pueden proporcionar valiosa información sobre ciertos tipos de mala nutrición que afectan a la composición general del cuerpo.

## Descripción, instalación y uso adecuado de los instrumentos de medición.

El lugar donde se realicen las mediciones debe ser: amplio, limpio e iluminado preferentemente con luz de día. Es importante instalar los instrumentos en lugares seguros que tengan paredes lisas, verticales y pisos planos.

Además, no debemos olvidar revisar el equipo antes de toda medición. El equipo básico que emplearemos para la antropometría es:

- a) Báscula electrónica
- b) Estadímetro
- c) Cintas de fibra de vidrio
- d) Plicómetro
- e) Equipo de impedancia bioeléctrica (incluye aparato, electrodos y cables)



## Condiciones generales para la toma de mediciones antropométricas

### A) Requisitos para la toma de mediciones antropométricas

Es necesario que los individuos cumplan con los siguientes puntos:

- 1) Estar en ayuno por lo menos de 8 horas.
- 2) Vestir ropa ligera y sin algún material o accesorio que pese (llaves, monedas, anillos, reloj, etc.).
- 3) Descalzos y sin calcetines.
- 4) No presentar edema.\*

Para la toma de la impedancia bioeléctrica, el individuo además de lo anterior debe:

- 1) No vestir con alguna prenda o ropa de nylon que pueda interferir con la medición de impedancia bioeléctrica.
- 2) No haber realizado esfuerzo físico previo a la medición.
- 3) No haber ingerido alcohol.
- 4) No estar en etapa de embarazo\*
- 5) No presentar amputación de extremidades del cuerpo.\*
- 6) No presentar atrofia muscular o deformación del sistema esquelético.\*

*\*Estas condiciones fisiológicas deben preguntarse y observarse.*

### B) Plano anatómico para la toma de mediciones antropométricas

- 1) De pie.
- 2) Postura erguida y vista al frente.
- 3) Brazos extendidos hacia los costados.
- 4) Palmas de las manos tocando ligeramente los costados del muslo.
- 5) Piernas sin flexionar.
- 6) Talones juntos y puntas de los pies ligeramente separadas.



### C) Condiciones generales para la toma de pliegues cutáneos

1. Sujetar el pliegue con los dedos índice y pulgar: pellizco moderado sin causar dolor.
2. Colocar el plicómetro de forma perpendicular a la cresta del pliegue.
3. Las ramas del plicómetro se colocan de 1-2 cm en forma distal al pellizco.
4. Realizar la lectura después de 2-3 segundos de que las ramas del plicómetro ejerzan libremente la presión sobre el pliegue.
5. La lectura se realiza en milímetros.
6. La lectura se realiza al milímetro que se vea inmediatamente por arriba de la zona de superposición de la aguja.
7. Retire el plicómetro abriendo las ramas del mismo y posteriormente retire los dedos.



### D) Condiciones generales para la toma de las circunferencias

- 1) Localizar y marcar los puntos anatómicos de referencia.
- 2) Colocar la cinta en plano horizontal.
- 3) La cinta no debe hacer presión o surco sobre la piel.
- 4) La lectura se realiza en centímetros y con aproximación a un décimo.

5

## Medición del peso

El peso es la determinación antropométrica más común. Es de gran utilidad para observar la deficiencia ponderal en todos los grupos de edad.

Para la correcta medición, el sujeto debe estar en posición erecta y relajada, de frente a la báscula con la vista fija en un plano horizontal. Las palmas de las manos extendidas y descansando lateralmente en los muslos; con los talones ligeramente separados, los pies formando una V ligera y sin hacer movimiento alguno. Esta medición se efectuará por duplicado.



## Medición de la estatura



La estatura de un individuo es la suma de 4 componentes: las piernas, la pelvis, la columna vertebral y el cráneo.

El sujeto deberá estar de espaldas, haciendo contacto con el estadímetro (colocado verticalmente), con la vista fija al frente en un plano horizontal; los pies formando ligeramente una V y con los talones entreabiertos. El piso y la pared

donde esté instalado el estadímetro deben ser rígidos, planos (sin bordes) y formar un ángulo recto (90°). Se deslizará la parte superior del estadímetro y al momento de tocar la parte superior más prominente de la cabeza. Se tomará la lectura exactamente en la línea roja que marca la estatura. Esta medición se realizará por duplicado.

6

## Medición de circunferencias

### A) Circunferencia media de brazo

Expresa la reserva actual de tejido adiposo, y sirve como referencia para la toma de los pliegues.

Para tomar esta circunferencia es necesario medir de inicio la longitud del brazo; con el antebrazo derecho doblado hacia el frente (en un ángulo de 90°) perpendicular al cuerpo y con el dorso de la mano hacia fuera del cuerpo. La longitud se determinará colocando la cinta en el vértice superior del acromion del omoplato hasta el olécranon del cúbito (y la cabeza del radio), cuidando que la cinta permanezca extendida firmemente sin hacer contacto directo con el brazo; utilizando el observador sus dedos índices de ambas manos para hacer la determinación. Es recomendable que una vez localizado el punto medio se marque con un bolígrafo para no errar la medición.

El individuo deberá estar relajado, descubierto (sin suéter, camisa o playera), erguido, de perfil, los brazos descansando en los muslos. A continuación se extiende el brazo del sujeto para pasar la cinta métrica horizontalmente (alrededor del brazo), sin presionar, y haciendo contacto con la piel. En ese momento es cuando se toma la lectura de la circunferencia. Esta medición se realizará por triplicado.

### B) Cintura

El individuo deberá estar relajado, erguido, de perfil; los brazos descansando sobre los muslos y el abdomen descubierto, en la posición descrita. Se palpa el borde costal inferior y el borde superior de la cresta ilíaca, ambos del lado derecho. Con la cinta métrica se toma la distancia media vertical y después se hace lo mismo del lado izquierdo. Una vez marcada la media en los dos lados con un bolígrafo, se coloca la cinta -sin comprimirla- alrededor de la cintura para medir la circunferencia tomando la lectura correspondiente. La medición será por triplicado.

7

### C) Cadera

El sujeto debe estar relajado y descubierto de la parte que comprende la cadera para palpar los trocánteres mayores de la cabeza del fémur.

Cuando se hayan localizado los trocánteres se coloca la cinta métrica sin comprimirla alrededor de éstos, en su circunferencia máxima y se procede a realizar la lectura. Ésta se efectuará por triplicado.



8



## Medición de pliegues cutáneos

Es la valoración de los depósitos de grasa en la que se determina el grosor del pliegue cutáneo en varios sitios corporales como son los miembros superiores, abdomen, extremidades inferiores, etc. Un pliegue cutáneo mide indirectamente el grosor del tejido adiposo subcutáneo.

La medición se practicará pidiendo al individuo que esté relajado. El pliegue formado de manera paralela al eje longitudinal con el pulgar y el índice de la mano izquierda, se separará del músculo subyacente y se medirá en ese punto, colocando el plicómetro perpendicular al pliegue. La lectura de la medida se realiza a los 2 ó 3 segundos después de haber colocado el plicómetro.

### A) Pliegue bicipital

Se medirá el pliegue vertical en la parte media frontal del brazo, directamente arriba de la fosa cubital; al mismo nivel del pliegue tricipital y de la marca del punto medio del brazo.



9



### B) Pliegue tricipital

El brazo deberá colgar ligeramente al costado. Se toma el pliegue a la altura del punto medio del brazo.



### C) Pliegue subescapular

El sitio de medición corresponderá al ángulo interno debajo de la escápula y deberá tener un ángulo de 45° en la misma dirección del borde interno del omóplato (o sea hacia la columna vertebral). En sujetos obesos se deberá desprender enérgicamente el pliegue del músculo subyacente y esperar varios segundos a que el plicómetro deje de moverse para que la medición se pueda realizar.



10

#### D) Pliegue suprailíaco

Se medirá justamente por arriba de la cresta ilíaca, de 1 a 2 centímetros en referencia a la línea axilar media, en forma oblicua y en dirección hacia la zona genital.



#### E) Pliegue de pierna

El pliegue se deberá medir a la altura de la máxima circunferencia de pantorrilla o en el punto medio entre la rodilla y la base del talón. El sujeto debe estar erguido y relajado; el pliegue se toma en posición vertical para facilitar la colocación horizontal del plicómetro y llevar a cabo la medición.

11

## Impedancia bioeléctrica

Esta medición es muy útil ya que por sí misma nos refiere la cantidad de masa muscular y la masa grasa. Para esta medición, es necesario que el área este libre de grasa, sudor, etc; de tal forma que sea fácil pegar los electrodos.

En esta medición es importante colocar los 4 electrodos de la siguiente manera:

- Dos en el pie: uno, en el empeine y otro, cerca del tobillo.
- Dos, en la mano: uno, en el dorso y el otro en la muñeca.

La forma más correcta de realizar la impedancia es en decúbito, sin embargo opcionalmente podemos realizarla de pie, ya que es mucho más fácil.

No debemos olvidar que tenemos que extremar precauciones en el caso de que sea una mujer embarazada, o que el paciente tenga marcapasos.

El aparato para realizar esta medición nos pide algunos datos como son:

SEXO  
EDAD  
PESO  
TALLA  
HORAS DE EJERCICIO POR SEMANA



12

## GUÍA PARA EL ANÁLISIS DE ANTROPOMETRÍA

**Índice de Masa Corporal:** Se determina según el criterio de la OMS<sup>(1)</sup>, a través de la siguiente fórmula:

$$\text{IMC} = \text{Peso (Kg)} / (\text{Talla m})^2$$

	Puntos de Corte IMC
Bajo Peso	<18.5
Normal	18.5 - 24.9
Sobrepeso	25 - 29.9
Obesidad Grado I	30 - 34.9
Obesidad Grado II	35 - 39.9
Obesidad Grado III	≥40

**Nota:** Para facilitar la comparación internacional, los reportes de investigación pueden utilizar todas las categorías (ie, 18.5, 20, 23, 25, 27.5, 30, 32.5, 35, 37.5, 40 kg/m<sup>2</sup>). Una discusión más amplia puede verse en: Lancet-vol 363, 157-63. January 10, 2004.

**Estado Nutricional:** En niños menores de 5 años, se calcula mediante la comparación de indicadores antropométricos con las tablas del NCHS<sup>(2)</sup>. El resultado del contraste se expresa en unidades estandarizadas a la normalidad (standard deviation SD = score z) y se da la siguiente

Indicadores Antropométricos		
Peso/Edad	Talla/Edad	Puntos de Corte
Obesidad	Muy Alta	> +2 SD
Sobrepeso	Alta	> +1 SD
Normalidad	Normal	+1 a -1 SD
Desnutrición Leve	Déficit Leve	-1 a -1.99 SD
Desnutrición Moderada	Déficit Moderado	-2 a -2.99 SD
Desnutrición Grave	Déficit Grave	-3 o más

**Obesidad Central:** Se toman los criterios de la OMS<sup>(3)</sup>, utilizando los siguientes indicadores:

Indicadores	Obesidad Central	
	Mujeres	Hombres
Circunferencia de Cintura	> 88 cm	> 102 cm
Índice Cintura/Cadera	> 0.85	> 0.90

13

**Porcentaje de Grasa Corporal:** Se aplica la ecuación de Siri<sup>(4)</sup>,

**Grasa Corporal Total de 4 Pliegues:**

1. Medidas de cuatro pliegues en mm (tríceps, subescapular, suprailíaco y bíceps).
2. Peso corporal en kg.
3. Agregar la ( $\Sigma$ ) de pliegues.
4. Calcular el logaritmo de  $\Sigma$ .
5. Calcular la densidad corporal (D).
6. Calcular la masa grasa (FM).

$$\text{Fórmulas: FM (kg)} = \text{Peso Corporal (kg)} \times \left\{ (4.95/D) - 4.5 \right\}$$

$$\text{FFM (kg)} = \text{Peso Corporal (kg)} - \text{FM (kg)}$$

$$\% \text{ Grasa} = \left\{ (4.95/D) - 4.5 \right\} \times 100$$

**Estimación de la densidad corporal del logaritmo de la suma de cuatro pliegues cutáneos<sup>(5)</sup>**

Género	Rango de Edad (años)	Densidad Corporal D
Hombres	17 - 19	1.1620 - 0.0630 x (log $\Sigma$ )
	20 - 29	1.1631 - 0.0632 x (log $\Sigma$ )
	30 - 39	1.1422 - 0.0544 x (log $\Sigma$ )
	40 - 49	1.1620 - 0.0700 x (log $\Sigma$ )
	50 +	1.1715 - 0.0779 x (log $\Sigma$ )
Mujeres	16 - 19	1.1549 - 0.0678 x (log $\Sigma$ )
	20 - 29	1.1599 - 0.0717 x (log $\Sigma$ )
	30 - 39	1.1423 - 0.0632 x (log $\Sigma$ )
	40 - 49	1.1333 - 0.0612 x (log $\Sigma$ )
	50 +	1.1339 - 0.0645 x (log $\Sigma$ )

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Report of a WHO Expert Committee. Physical Status: The Use and Interpretation of Anthropometry. Geneva: WHO Technical Report Series, No. 854, 1995.
2. Norma Oficial Mexicana, para la Atención a la Salud del Niño. NOM-031-SSA2-1999.
3. Lim SC, Tai ES, Tan BY, Chew SK, Tan CE. Cardiovascular Risk Profile in Individuals with Borderline Glycemia. The Effect of the 1997 American Diabetes Association Diagnostic Criteria and the 1998 World Health Organization Provisional Report. Diabetes Care 23:278-82, 2000.
4. Krey SH, Murray RL. Dynamics of Nutrition Support. Appleton-Century-Crofts, Norwalk, 1986:165.
5. Durnin J.V.G.A and Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. Br.J.Nutr. (1974) 52-77

14

# Apéndice

## Hoja de Recolección de Datos de Antropometría

Observador _____	Observado _____		
Medida	1ª	2ª	3ª
peso	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] kg	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] kg	
talla	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] cm	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] cm	
pliegue bicipital	[ ] [ ] [ ] [ ] mm	[ ] [ ] [ ] [ ] mm	[ ] [ ] [ ] [ ] mm
pliegue tricpital	[ ] [ ] [ ] [ ] mm	[ ] [ ] [ ] [ ] mm	[ ] [ ] [ ] [ ] mm
pliegue subescapular	[ ] [ ] [ ] [ ] mm	[ ] [ ] [ ] [ ] mm	[ ] [ ] [ ] [ ] mm
pliegue suprailiaco	[ ] [ ] [ ] [ ] mm	[ ] [ ] [ ] [ ] mm	[ ] [ ] [ ] [ ] mm
cintura	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] cm	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] cm	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] cm
cadera	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] cm	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] cm	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] cm
circunf. medio-braquial	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] cm	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] cm	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] cm
pliegue pierna	[ ] [ ] [ ] [ ] mm	[ ] [ ] [ ] [ ] mm	[ ] [ ] [ ] [ ] mm

Diseño Gráfico / Jorge Velázquez / Depto. Educación para la Salud (INNSZ)



### MANUAL DE ANTROPOMETRÍA

Segunda Edición, 2004  
Incluye manual impreso

ISBN 968-6499-42-3

#### Derechos Reservados

© Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán,  
Vasco de Quiroga No. 15, Col. Sección XVI, Tlalpan, C.P. 14000  
México, D. F.

Impreso y Hecho en México,  
Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán

## Estimación de la ingesta dietética: métodos y desafíos

J. Sabaté

*Departamentos de Epidemiología, Nutrición y Medicina Preventiva. Schools of Medicine and Public Health. Loma Linda University, California, EE.UU.*

### dieta

La estimación de la ingesta alimentaria no es un tema nuevo en nuestro país<sup>1</sup>. Clínicos, epidemiólogos y gestores sanitarios necesitan información sobre la relación de la dieta con el estado de salud de los individuos o comunidades, y la obtención de esta información requiere el uso de algún método de encuesta dietética<sup>2</sup>. La capacidad de descubrir relaciones entre dieta y enfermedad, de apreciar cambios en la dieta de pacientes siguiendo una prescripción dietética o de identificar subgrupos de la población en riesgo por un consumo inadecuado de ciertos nutrientes depende, en gran manera, de la elección de un método apropiado de estimación de la ingesta. Aunque varios métodos de estimación de la ingesta dietética se han desarrollado o perfeccionado en las últimas décadas, no existe ninguno ideal para todas las circunstancias. Cada método tiene sus ventajas, limitaciones y aplicaciones propias.

La estimación de la ingesta dietética conlleva el obtener información sobre los alimentos consumidos por individuos o grupos. La estimación de la ingesta de nutrientes implica además el cómputo del contenido de energía y nutrientes de estos alimentos usando valores derivados de las tablas de composición de alimentos, programas de análisis nutricional por computadora o análisis químico directamente de los alimentos. En este artículo se describen los métodos disponibles para recoger información de la ingesta alimentaria de individuos que viven en régimen externo y, dada su aplicación en la clínica, se discutirán extensamente. Se abordarán más sucintamente los métodos de encuesta dietética de grupos o colectivos, llamados también métodos indirectos. Los procedimientos metodológicos necesarios para estimar la ingesta de individuos en estudios metabólicos controlados no son objeto de esta revisión. Tampoco se discutirán los procedimientos adicionales necesarios para determinar la ingesta de nutrientes.

Se han identificado cuatro métodos de estimación de la ingesta individual, que son: el recordatorio de 24 horas, el diario o registro dietético, la historia dietética y el método de frecuencia de consumo alimentario. Existen variaciones de estos métodos básicos en cuanto a su modo de administración (entrevista frente a cuestionario, administración única frente a múltiple) y duración del periodo estudiado. Los nombres con los que estas variaciones metodológicas se han descrito en la literatura pueden ser redundantes y han contribuido a cierta confusión terminológica. Existen muchas y detalladas revisiones sobre metodologías de estimación de la ingesta para aquellos que quieran profundizar en el tema<sup>3-10</sup>.

Trabajo realizado con la beca Fulbright (1984-86) otorgada por el Ministerio de Sanidad y Consumo.

Correspondencia: Dr. J. Sabaté, MD, DrPh.  
Loma Linda University, Department of Nutrition,  
Nichol Hall Room 1, 117 - Loma Linda, CA 92350, EE.UU.

Manuscrito recibido el 16-12-1991

*Med Clin (Barc)* 1993; 100: 591-596

### Recordatorio de 24 horas

Como su nombre implica, este método intenta obtener información completa de la ingesta alimentaria de un individuo durante un periodo de 24 horas. Este método requiere un entrevistador entrenado y generalmente se tarda de 20 a 30 minutos para realizarlo. El entrevistador pregunta extensamente sobre el consumo de alimentos y bebidas durante las 24 horas previas a la entrevista<sup>11</sup> o durante el día anterior a la entrevista desde el desayuno hasta que el individuo se acostó<sup>12</sup>.

Para obtener una descripción adecuada de los alimentos y bebidas consumidas, el entrevistador pregunta sobre el tipo, modo de preparación, nombre comercial, ingredientes de la receta y otras características. Se usan ayudas visuales durante la entrevista como referencia para estimar las cantidades y porciones consumidas. Estas ayudas pueden ser modelos de alimentos y formas geométricas<sup>13</sup>, utensilios caseros de medición (cucharas, tazas u otros)<sup>14</sup>, dibujos<sup>15</sup> y fotografías<sup>16</sup> de alimentos de tamaño real. Además de las comidas habituales, el entrevistador pregunta sobre cualquier merienda, alimento o bebida tomado entre comidas. Finalmente, una lista de alimentos frecuentemente olvidados, nombrados en el momento de la entrevista, puede ayudar a recordar otros alimentos consumidos.

La precisión del recordatorio de 24 horas depende de la memoria, cooperación y capacidad de comunicación del sujeto así como de las habilidades del entrevistador<sup>17</sup>. El recordatorio de 24 horas se ha validado al compararlo con métodos de observación y pesada<sup>18</sup>. Este método produce una estimación de la ingesta de nutrientes de un grupo de individuos similar a la de los métodos de referencia<sup>19</sup>. Sin embargo, debido al olvido, este método puede producir subestimaciones de la ingesta de algunos nutrientes<sup>18,20</sup>.

Este método tiene más ventajas claras, como son su capacidad de estimar cuantitativamente la ingesta alimentaria y el no requerir del individuo encuestado que sepa leer o escribir, ni tener memoria del pasado lejano. Ello hace que el recordatorio de 24 horas sea el método más comúnmente seleccionado para estimar la ingesta dietética. Diversas encuestas alimentarias nacionales<sup>12,21,22</sup> o locales<sup>16</sup> y estudios relacionando dieta y salud<sup>23-25</sup> han utilizado este método para cuantificar la ingesta de nutrientes.

La desventaja principal para su uso en la práctica clínica y en epidemiología analítica es que un solo recordatorio de 24 horas no estima necesariamente la dieta habitual de un individuo<sup>26,27</sup>. Esto se debe a la gran variabilidad diaria en la ingesta alimentaria de los individuos de las sociedades desarrolladas. Por ello, el recordatorio dietético de un solo día se considera un método poco útil en investigaciones epidemiológicas de dieta y enfermedades<sup>28</sup> o en estudios que relacionen dieta con factores biológicos<sup>29,30</sup>. Además, el recordatorio de 24 horas no es un método apropiado para detectar estados deficitarios en un individuo, pues la ingesta de muchas vitaminas y minerales puede variar grandemente de

**TABLA 1**  
**Ventajas e inconvenientes de diversos métodos de estimación de la ingesta dietética individual**

Ventajas	Inconvenientes
<i>Recordatorio de 24 horas</i>	
El tiempo de administración es corto El procedimiento no altera la ingesta habitual del individuo Un solo contacto es necesario Recordatorios seriados pueden estimar la ingesta habitual de un individuo Puede usarse en personas analfabetas Su costo es moderado, especialmente si la entrevista se realiza por teléfono	Un solo recordatorio de 24 horas no estima la ingesta habitual de un individuo Es difícil de estimar con precisión el tamaño de las porciones Depende de la memoria del encuestado Entrevistadores entrenados son necesarios para su administración
<i>Diario dietético</i>	
Precisión en la estimación o cálculo de las porciones ingeridas El procedimiento no depende de la memoria del individuo	El individuo ha de saber leer, escribir y contar Requiere mucho tiempo y cooperación por parte del encuestado, especialmente el registro por pesada Los patrones de ingesta habitual pueden ser influenciados o cambiados durante el período de registro La precisión del diario disminuye al aumentar el número de días consecutivos El costo de codificación y análisis es elevado
<i>Cuestionario de frecuencia de consumo</i>	
Puede estimar la ingesta habitual de un individuo Rápido y sencillo de administrar El patrón de consumo habitual no se altera No requiere entrevistadores entrenados Costo de administración muy bajo, especialmente si se realiza por correo Capacidad de clasificar individuos en categorías de consumo, útil en estudios epidemiológicos	El desarrollo del instrumento (cuestionario) requiere un esfuerzo considerable y mucho tiempo Dudosa validez en la estimación de la ingesta de individuos o grupos con patrones dietéticos muy diferentes de los alimentos de la lista Ha de establecerse la validez para cada nuevo cuestionario y población Requiere memoria de los hábitos alimentarios en el pasado Poca precisión en la estimación y cuantificación de las porciones de alimentos El recordatorio de la dieta en el pasado puede estar sesgado por la dieta actual El tiempo y las molestias para el encuestado aumentan de acuerdo al número y complejidad de la lista de alimentos, y los procedimientos de cuantificación
<i>Historia dietética</i>	
Puede dar una descripción más completa y detallada de la ingesta alimentaria habitual que los otros métodos Puede usarse en personas analfabetas	Requiere un entrevistador muy entrenado, generalmente un dietista Requiere tiempo y mucha cooperación por parte del entrevistado El costo de administración es elevado No existe una manera estándar de realizar la historia dietética

un día a otro y aun ser en su conjunto adecuada<sup>27,31</sup>. Son necesarios múltiples recordatorios de 24 horas de un mismo individuo para estimar con un cierto grado de validez su ingesta habitual<sup>26,27</sup>.

La aplicación principal de un solo recordatorio de 24 horas reside en estimar la ingesta de alimentos o nutrientes de grupos de individuos. El recordatorio de 24 horas se ha usado para tipificar la ingesta alimentaria de grupos de poblaciones, compararla con otros grupos o determinar cambios en un mismo grupo a través del tiempo. El valor de este método en averiguar el promedio de la ingesta de grupos está bien establecido<sup>19</sup>, dado que el promedio de la ingesta de un grupo no varía significativamente de un día a otro<sup>32</sup>. El recordatorio de 24 horas puede ser también útil para evaluar la efectividad de programas de intervención dietética en la comunidad o monitorizar la adherencia al régimen terapéutico en ensayos clínicos de intervención nutricional, lo cual implica el comparar el promedio de la ingesta de los grupos de intervención y control. Finalmente, el recordatorio de 24 horas puede usarse para validar otros métodos de estimación de la ingesta dietética en poblaciones con poca motivación o alto nivel de analfabetismo, especialmente si se obtienen múltiples recordatorios para cada persona.

La **tabla 1** resume las principales ventajas e inconvenientes del recordatorio de 24 horas. Su comparación con las listas respectivas de ventajas e inconvenientes de los otros méto-

dos puede ser un ejercicio útil para determinar el método de estimación de la ingesta alimentaria a escoger.

### Diario dietético

Los diarios dietéticos son descripciones detalladas de los tipos y cantidades de alimentos y bebidas consumidos. En este método los sujetos registran su dieta durante un período de tiempo determinado, generalmente de uno a siete días, aunque también se han comunicado períodos hasta de un año<sup>33</sup>. El diario suele escribirse en un librito especialmente diseñado para este propósito. Una o varias hojas se destinan para cada día del diario. Cada línea de este librito tiene diferentes espacios donde apuntar el horario de ingesta, el lugar, la descripción del alimento, la manera de prepararlo o cocinarlo y la cantidad (**tabla 2**). Los métodos de medida (estimación o pesada) y las maneras de registro tienen que ser detalladamente demostrados a los sujetos antes de empezar el diario.

Una manera usual de cuantificar y describir la ingesta de líquidos, semisólidos y alimentos troceados es en medidas caseras, como tazas y cucharadas. Para alimentos sólidos, se describen su forma y dimensiones y en los alimentos enlatados o empaquetados puede usarse el peso o volumen especificado en el envoltorio. En los guisos han de anotarse,

TABLA 2  
**Diario dietético. Ejemplo del encabezamiento de una página para el registro de un día**

Anote *todos* los alimentos y bebidas consumidas durante las comidas habituales, meriendas y «entre comidas». No se olvide de registrar el agua, bebidas alcohólicas, «tapas», complejos vitamínicos, etc.

Día de la semana \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

E N C A S A	F U E R A	HORA	CANTIDAD	ALIMENTO CONSUMIDO (tipo, marca, indicar si es en conserva o congelado)	Indique la cantidad utilizada al cocinar				No escriba aquí	
					Aceite	Marga- rina	Mante- quilla	Manteca de cerdo	Código	Frecuencia

siempre que sea posible, las cantidades de cada ingrediente usado en la receta, el peso final y la cantidad consumida. Los diarios dietéticos requieren una dedicación y colaboración plena por parte del individuo. Cuando un diario dietético se realiza cuidadosamente puede proporcionar información valiosa en cuanto al patrón alimentario y permite obtener una estimación más exacta de las porciones consumidas que el recordatorio de 24 horas. Sin embargo, el acto de apuntar todo lo que se come y bebe puede cambiar la percepción de lo comido y así alterar los patrones dietéticos<sup>34</sup>. Este efecto es realmente indeseable cuando lo que se pretende es caracterizar la ingesta usual de una persona; por el contrario, en programas terapéuticos esto puede ser una ventaja. Así, pues, los diarios dietéticos son frecuentemente usados en la clínica como un método pedagógico con fines terapéuticos en programas de adelgazamiento. El diario dietético de varios días es un método bien conocido de modificación de la conducta para disminuir la ingesta<sup>31</sup>.

La precisión de un diario dietético disminuye sorprendentemente después del segundo día consecutivo de registro<sup>35</sup>. Múltiples diarios dietéticos de uno o dos días de duración distribuidos al azar en un período suficientemente largo de tiempo, idealmente un año, estiman mejor la dieta habitual de un individuo que un diario dietético de muchos días consecutivos. El registro dietético de múltiples días requiere mucho tiempo y cooperación por parte de los sujetos; por tanto, este método tiene un uso limitado en estudios poblacionales y su aplicación principal reside en estudios restringidos con sujetos motivados.

El diario o registro alimentario por pesada aún requiere más cooperación por parte del individuo, pero proporciona una mejor precisión de la ingesta alimentaria y consiguientemente de nutrientes. En este método se requiere al individuo que determine la cantidad de cada alimento o bebida ingerida pesándolos en una balanza. Los alimentos o bebidas no ingeridas en su totalidad han de volver a pesarse para calcular el desperdicio.

Anteriormente este método era muy difícil de ser llevado a

cabo por individuos que desarrollaban una vida normal, pues el tiempo requerido en pesar, registrar y describir todos los alimentos ingeridos requería varias horas al día. Actualmente existen técnicas que han facilitado el proceso: balanzas que se ajustan a cero después de la introducción de cada nuevo alimento<sup>31</sup>, otras que además tienen incorporado un audio-cassette con un micrófono<sup>36</sup>. Al usar estas últimas, el sujeto, al tiempo que pesa los alimentos, describe verbalmente el tipo de alimentos y su peso, con lo que así se evita el trabajo del registro escrito.

El diario o registro alimentario por pesada se considera el método más exacto que puede administrarse a individuos que viven en régimen externo. El registro por pesada se ha usado, por tanto, como el patrón para comparar la precisión de otros métodos, especialmente cuestionarios de frecuencia de consumo alimentario<sup>37</sup>. Dado el alto costo, tanto en material como recursos humanos, su uso se limita a estudios con pocos sujetos, pero muy motivados y capaces de seguir meticulosamente todos los procedimientos de pesada y registro alimentario. Un inconveniente de este método es su potencial efecto disruptivo del proceso alimentario habitual de un individuo, que en algunos sujetos puede introducir sesgos considerables al estimar su patrón alimentario habitual<sup>10,38,39</sup>.

### Historia dietética

El método de la historia dietética fue desarrollado originalmente por el grupo de Burke<sup>40-43</sup> en la década de los cuarenta como una herramienta de investigación para estimar el promedio de la ingesta habitual de alimentos y nutrientes en un período de tiempo relativamente largo. La palabra «historia» no indica que la información dietética se refiera al pasado remoto. Este método se desarrolló en un medio clínico y dichos autores<sup>40-42</sup> adoptaron el nombre de «historia dietética» posiblemente por analogía al de «historia clínica». La historia dietética tal como se desarrolló originalmente cons-

ta de tres partes<sup>42</sup>. En primer lugar, se le pregunta al sujeto sobre los patrones de comida de un día típico. Después se le lee una lista detallada de alimentos con el fin de verificar y clarificar información dada durante la primera parte. Finalmente, el sujeto realiza un registro de los alimentos tomados durante tres días. Hoy en día el método original raramente se utiliza, muchos investigadores lo han modificado y el registro alimentario de tres días generalmente no se realiza.

La historia dietética se lleva a cabo durante una entrevista por una persona entrenada en dietética y nutrición. Para determinar la dieta habitual, se pregunta al sujeto sobre sus hábitos dietéticos pasados, el número y tipo de comidas normalmente consumidas. Cada comida se discute por separado para determinar cuáles son los alimentos usados, así como su frecuencia. Las cantidades son estimadas con la ayuda de medios visuales, tales como fotografías<sup>43</sup> o modelos tridimensionales de alimentos<sup>44</sup>. El entrevistador también pregunta sobre alergias a ciertos alimentos, alimentos apetecidos o nunca comidos, así como variación estacional en la ingesta de los alimentos. También se intenta recoger información relativa a las circunstancias que acompañan la ingesta de alimentos tales como horario de las comidas, lugar donde se toman las comidas y otras.

La principal ventaja de la historia dietética es que mide la ingesta sobre un largo período de tiempo y así reduce las variaciones estacionales. Sin embargo, este método está sujeto a los mismos sesgos que todos los métodos de recordatorio. La historia dietética no es muy apropiada en sujetos sin un patrón alimentario bien definido. Es un método muy costoso, pues requiere la presencia de un dietista. El tiempo necesario para la entrevista y su codificación es de dos a tres horas.

La aplicación principal de la historia dietética reside actualmente en la práctica clínica; muchas veces es el método de elección en ancianos o niños pequeños. Debido a su importancia histórica, han existido muchos intentos para hacer este método más corto y así poderlo usar en estudios epidemiológicos<sup>45,46</sup>. Muchos estudios de casos y controles han usado una versión modificada de la historia dietética<sup>47,48</sup>. Una modificación de la historia dietética se usó en el estudio de cohortes de Framingham<sup>49</sup> y otros<sup>51</sup>. La historia dietética se ha usado también como método estándar para comparar otros métodos<sup>19,47</sup>.

### Cuestionario de frecuencia de consumo

En este método el sujeto indica la frecuencia habitual de consumo durante un período determinado de cada uno de los alimentos o grupos de alimentos enumerados en una lista. Algunos cuestionarios incluyen preguntas sobre las cantidades o porciones consumidas, cuestionarios cuantitativos, otros usan una porción determinada para cada alimento de la lista, cuestionarios semicuantitativos<sup>37</sup>. La **tabla 3** representa un ejemplo del formato de estos cuestionarios. En el pasado los cuestionarios de frecuencia se utilizaron para evaluar la ingesta de uno o varios nutrientes<sup>19</sup>. Apropiadamente diseñado, un cuestionario de frecuencia puede evaluar la ingesta de muchos o casi todos los nutrientes de la dieta de un individuo<sup>52</sup>. Para ello, la lista de los alimentos incluidos ha de reflejar las fuentes de estos nutrientes en la población a estudiar y los alimentos han de ser listados de una manera distintiva<sup>53</sup>. Esto implica el no colapsar en una misma pregunta alimentos que aportan tipos muy diferentes de nutrientes a la dieta.

Los cuestionarios de frecuencia pueden ser administrados mediante entrevista o rellenados por el sujeto sin necesidad de ayuda. Por lo tanto, es posible administrarlos por correo. Dado que este método es rápido y barato de administrar, se

ha usado en los estudios epidemiológicos de cohortes con decenas de miles de participantes<sup>54,55</sup>. La codificación de estos cuestionarios es relativamente rápida y no requiere personal experto en nutrición. Con un formato apropiado, el cuestionario se puede leer incluso electrónicamente<sup>37</sup>, lo que incrementa aún más la rapidez y economía de este método.

Los cuestionarios de frecuencia varían en relación al número y tipo de alimentos listados. El número puede ser muy reducido, tan bajo como 15 alimentos<sup>56</sup>, o superior a 250 alimentos listados<sup>37</sup>. La inclusión de más de 100 alimentos en la lista hace que pierda su ventaja de brevedad y simplicidad. Así, pues, la confección de la lista de alimentos debe ser diseñada con esmero. Willett<sup>58</sup> ha propuesto tres criterios a tener en cuenta para la inclusión de alimentos en la lista: los sujetos de la población en estudio han de utilizar los alimentos con relativa frecuencia; estos alimentos han de tener un contenido importante de los nutrientes de interés, y ha de existir una variación interindividual considerable en el consumo de estos alimentos. Si estas tres características se cumplen, se podrá utilizar este método para estimar la magnitud relativa del consumo habitual de nutrientes de los individuos participantes en el estudio.

El diseño y desarrollo de un cuestionario de frecuencia de alimentos no es fácil y requiere un trabajo considerable<sup>37,52,59,61</sup>.

Para desarrollar un cuestionario de frecuencia de consumo, ha de realizarse un estudio preliminar en una muestra de la población a estudiar. Los fines de este estudio piloto son múltiples: establecer patrones, identificar alimentos particularmente consumidos por esta población, así como las porciones habituales y suministrar datos con los que comparar ecuaciones de regresión apropiadas para esta población<sup>37,60</sup>. El resultado final es la confección de un cuestionario específico para una población con unos hábitos alimentarios determinados. El uso del mismo cuestionario en otras poblaciones es de dudosa validez<sup>19</sup>.

Durante las últimas dos décadas, el cuestionario de frecuencia de consumo ha encontrado su aplicación primordial en estudios epidemiológicos que requieren un gran número de participantes. Este método se ha utilizado efectivamente en estudios longitudinales de dieta y enfermedades crónicas<sup>54,55</sup> o en estudios de relación dieta con parámetros biológicos en adultos<sup>52</sup> y niños<sup>59,65</sup>.

### Combinación de métodos

A veces resulta útil combinar varios métodos de estimación de la ingesta dietética en un mismo estudio o en la práctica clínica. El uso de dos métodos o más puede dar una estimación mejor y más precisa de la dieta habitual del individuo entrevistado, pues los inconvenientes de un método son contrarrestados por las ventajas del otro<sup>4,19</sup>. Por ejemplo, la encuesta nacional de consumo alimentario en los Estados Unidos<sup>14</sup> combinó un solo recordatorio de 24 horas y un diario dietético de tres días, y la encuesta de nutrición y salud de aquel mismo país usó un recordatorio de 24 horas y un cuestionario de frecuencia de consumo<sup>12</sup>. Esta última combinación se ha utilizado recientemente en la encuesta de alimentación y nutrición de Cataluña<sup>22</sup>.

Muchos tipos de historia dietética usados en el ámbito clínico se pueden considerar como combinaciones de varios métodos. Como se ha descrito anteriormente, la historia dietética llevada a cabo de la forma originalmente descrita<sup>42</sup> es de facto la combinación de tres métodos, a saber, el recordatorio de un día, un método de frecuencia de consumo y un registro alimentario. Es por ello que la historia dietética puede dar una descripción más completa y detallada de la ingesta alimentaria habitual que los otros métodos por separado.

TABLA 3  
**Cuestionario de frecuencia de consumo. Ejemplo de una página de un cuestionario semicuantitativo de frecuencia de consumo alimentario**

6. Por cada alimento listado, marque con que frecuencia ha consumido la cantidad especificada		Promedio de consumo durante el último año								
Alimentos y cantidades		Nunca o menos de una vez al mes	1-3 por mes	1 vez por semana	2-4 por semana	5-6 por semana	1 vez por día	2-3 por día	4-5 por día	6 o más por día
Panes, cereales, féculas (continuación)	Pan blanco (1 rebanada)									
	Pan integral (1 rebanada)									
	Magdalenas (una)									
	Galletas María (una)									
	Otras galletas (una)									
	Arroz blanco (1 taza)									
	Pasta (macarrones, espaguetis)									
	Patatas hervidas (1 cazo)									
	Patatas fritas (1 taza)									

### Métodos indirectos

En contraposición a los métodos directos anteriormente descritos en los que se estima la ingesta alimentaria individual, los métodos indirectos usan la familia, una institución, una nación o cualquier otra entidad geopolítica como unidad de observación. Tradicionalmente se han utilizado en política nutricional, agrícola y comercial<sup>66</sup>, pero también por epidemiólogos en estudios ecológicos<sup>67</sup>. Anteriormente se discutieron las aplicaciones principales de estos métodos en política nutricional<sup>6</sup>. Dado que no tienen aplicación clínica, se analizarán brevemente.

Las hojas de balance nos dan información sobre la cantidad neta de alimentos disponibles para una población anualmente. La *Food and Agriculture Organization*, organización de las Naciones Unidas para la agricultura y alimentación, las publica regularmente a nivel nacional<sup>67</sup>. La disponibilidad alimentaria nacional puede calcularse sumando la producción total de alimentos más las importaciones y restando las exportaciones, los alimentos no destinados para el uso humano y las pérdidas<sup>67</sup>. El Ministerio de Agricultura produce las hojas de balance alimentario nacional con fórmulas más complejas<sup>68</sup>. Cuando se dividen todos los alimentos disponibles en una nación por la población de aquella nación, es fácil averiguar la disponibilidad del consumo per capita de alimentos, pudiendo también calcularse la disponibilidad per capita de muchos nutrientes.

Las ventajas de este método son su rapidez y bajo costo, especialmente si los datos ya están disponibles por un organismo público. Las aplicaciones de este método son múltiples: comparaciones entre países a nivel internacional, o dentro de un mismo país a nivel regional. Dentro de una misma unidad geopolítica, el estudio de los cambios anuales de las hojas de balance, puede proveer información valiosa en cuanto a la evolución de los patrones alimentarios de la población general. En los estudios epidemiológicos de tipo ecológico, la información de la hoja de balance alimentario de un país se usa como la variable de exposición<sup>68</sup>. El inconveniente principal de este método es que no refleja la ingesta individual. Aunque la información disponible se refiere a menudo como per capita, ésta puede estar muy lejos del consumo real de muchos individuos de aquella población. Existen varios métodos para estudiar el consumo alimentario en una familia o institución, como son el registro, el inventario y el listado de alimentos<sup>2,38</sup>. Los métodos de encuesta familiar o institucional proveen un medio rápido de estimar el consumo de alimentos y la ingesta de nutrientes de grupos y comunidades. Sin embargo, tienen muchos inconvenientes.

Se ha de tener en cuenta que estos métodos provén información sobre la disponibilidad de alimentos pero no sobre su consumo. Los alimentos desperdiciados, alimentos dados a los invitados o usados para alimentar animales domésticos están incluidos en el cálculo. Los alimentos que se obtienen fuera de la casa, al comer en cantinas o restaurantes no están incluidos, a menos que cada miembro de la familia mantenga un registro de ello. Los patrones de compra pueden distorsionarse al llevar a cabo una encuesta familiar. Este tipo de métodos no provee información sobre la distribución de alimentos dentro de los individuos de la familia o institución. Los ministerios de Comercio o Agricultura de muchos países utilizan estos estudios para obtener información en cuanto al consumo de alimentos en diferentes poblaciones o regiones. La recolección de datos alimentarios, juntamente con las características demográficas de la familia, puede proveer información del consumo de alimentos según diferentes características socioeconómicas. Esta información se utiliza en política nutricional para identificar sectores o grupos de la población con riesgo potencial de malnutrición, o una dieta inadecuada por exceso de algunos nutrientes<sup>2,3</sup>.

### Agradecimiento

Agradezco la meticulosa labor de la Sra. Olga Sánchez en la confección de este manuscrito.

### CONFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sabaté Casellas F. Las encuestas de alimentación y nutrición en España. Bibliografía 1939-1979. Rev Sanid Hig Pública (Madr) 1984; 58: 1.117-1.132.
2. Sabaté J. La encuesta dietética: su valor en la clínica, epidemiología y política nutricional. Med Clin (Barc) 1992; 99: 738-740.
3. Caremon ME, Van Staveren WA. Manual on methodology for food consumption studies. Oxford: Oxford University Press, 1988.
4. Dwyer JT. Assessment of dietary intake. En: Shils ME, Young VR, editores. Modern nutrition in health and disease. Filadelfia: Lea and Febiger, 1988; 887-905.
5. Gibson RS. Principles of nutritional assessment. Nueva York: Oxford University Press, 1990.
6. Bingham S. The dietary assessment of individuals; methods, accuracy, new techniques and recommendations. Nutr Abst Rev 1987; 57: 705-742.
7. Young CM. Dietary methodology. Food and Nutrition Board, National Research Council. Assessing Changing Food Consumption Patterns. Washington: National Academy Press, 1981; 89-118.
8. Fehily AM. Epidemiology for nutritionist. Survey methods. Hum Nutr Appl Nutr 1983; 37A: 419-425.
9. Bock G. Human dietary assessment: methods and issues. Prev Med

# Obesidad, metabolismo energético y medida de la actividad física

C.M. López-Fontana<sup>1</sup>, M.A. Martínez-González<sup>2</sup>, J.A. Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Fisiología y Nutrición; <sup>2</sup>Departamento de Epidemiología y Salud Pública, Universidad de Navarra.

Correspondencia: Dr. J. Alfredo Martínez. Universidad de Navarra. Dpto. Fisiología y Nutrición. C/ Iruñiarrea, s/n. 31008-Pamplona.

E-mail: jalfmtz@unav.es.

## Resumen

La población adopta estilos de vida cada vez más sedentarios. Esta tendencia puede deberse al descenso en la actividad física requerida en la mayoría de los trabajos, así como a una mayor disponibilidad de medios de locomoción (en sustitución al hábito de caminar) y a un tipo de ocio que sólo exige una actitud pasiva (ver televisión, ordenador, etc.). Este estilo de vida, que se está implantando en la sociedad actual puede ser un determinante clave del desarrollo de la obesidad, debido a la implicación de la actividad física en el balance energético total. También, diversos estudios ponen de manifiesto la importancia que puede tener la actividad física asociada a las actividades cotidianas para prevenir la ganancia de peso.

En la actualidad, existen métodos directos e indirectos para la estimación de la actividad física y/o gasto energético total. Estos métodos incluyen: calorimetría, agua doblemente marcada, acelerómetros, registro diario de actividades, cuestionarios autoadministrados, mediciones metabólicas de la forma física, antropometría y frecuencia cardíaca. Estas herramientas de evaluación han sido utilizadas para medir varias dimensiones y atributos de la actividad física. Las ventajas y desventajas de cada uno de ellos dependen de la población a estudiar y de los objetivos que se desean alcanzar.

## Summary

*Population is increasingly adopting sedentary lifestyles. This tendency can be due to a lower physical activity required in most works, as well as to a wider availability of transportation means and to a leisure time that only demands a passive attitude (watching television, using computers, etc.). This widespread lifestyle could be one of the major determinants of the worldwide development of obesity, due to the implication of physical activity (20%–30%) in total energy balance. Furthermore, diverse studies have shown the importance of physical activity associated to daily activities to prevent weight gain.*

*Currently, direct and indirect methods are available for measuring physical activity and total energy expenditure. These methods include calorimeters, doubly labelled water, accelerometers, daily recording of activities, self-administered questionnaires, metabolic measurements of the fitness status, anthropometry and heart rate. These tools have been used to measure several dimensions and attributes of physical activity. The advantages and disadvantages of each depend of the population to be studied and of the objectives to be assessed.*

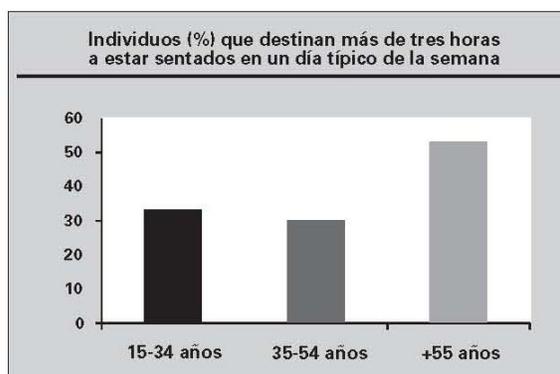
## Introducción

La obesidad se define como un exceso de tejido adiposo, que acompaña a un aumento del peso corporal, con respecto a lo que correspondería según género, talla y edad.<sup>1</sup> Actualmente, la obesidad constituye una de las alteraciones metabólicas de mayor repercusión no sólo desde el punto de vista sanitario, sino también desde el ámbito psicológico, social y económico.<sup>2</sup>

El rápido aumento de la prevalencia de obesidad, tanto en los países industrializados como en los países en vías de de-

sarrollo, indica que un alto porcentaje de la población vive en condiciones que conllevan un desequilibrio energético<sup>3</sup> y constituye una grave amenaza para la salud pública, debido al aumento del riesgo de enfermedades asociadas (diabetes, hipertensión, alteraciones inmunológicas, etc.) y por el coste sanitario derivado en el que el estilo de vida (hábitos dietéticos inadecuados y sedentarismo) está implicado.<sup>4,5</sup>

Este incremento generalizado en la prevalencia de la obesidad está llegando incluso a representar un 50% de la población mayor de 40 años en los Estados Unidos.<sup>4</sup> En Europa, mediante



**Figura 3.** Porcentaje de individuos que destinan más de tres horas a estar sentados en un día laboral típico en la Unión Europea.

### Metabolismo basal

El metabolismo basal (MB) constituye el 60-75% del gasto energético diario total. La tasa metabólica basal (TMB) es la fracción del gasto energético consumida por un sujeto que está acostado, en reposo físico y mental, tras 12 horas de ayuno y en condiciones de neutralidad térmica.<sup>10,17</sup>

Las necesidades energéticas debidas a la tasa metabólica basal se explican por la necesidad de mantenimiento de procesos vitales como la respiración, la circulación sanguínea, la síntesis de constituyentes orgánicos, el bombeo de iones a través de las membranas, el mantenimiento de la temperatura, etc.<sup>18</sup> Varios factores influyen en el metabolismo basal como el tamaño corporal, la distribución de la masa magra y grasa, la edad, el sexo, situaciones especiales como embarazo, fiebre, algunas enfermedades, factores genéticos, actividad del sistema nervioso simpático y la función tiroidea,<sup>15,19</sup> entre otros:

- El tamaño y la composición corporal: las personas de talla más grande tienen tasas metabólicas mayores que las de menor corpulencia.<sup>18</sup> El principal factor individual que determina el consumo de energía en reposo es la masa libre de grasa o masa magra.<sup>20</sup> La masa libre de grasa es el tejido metabólicamente activo en el organismo, de manera que gran parte de las variaciones en el consumo de energía en reposo son explicables por variaciones en la masa magra.<sup>21</sup>

- La edad: la pérdida de la masa magra a medida que avanza la edad se relaciona con una disminución en la tasa metabólica en reposo, contribuyendo entre un 2 a un 3% en la disminución por decenio después de la edad en que la persona se convierte en adulto. Estas modificaciones en la composición del organismo con la edad se atenúan con el ejercicio, el cual ayuda a mantener una mayor masa corporal magra y, por tanto, una tasa metabólica en reposo más alta.<sup>22</sup>

- El género: las diferencias entre hombres y mujeres en la tasa metabólica se atribuyen principalmente a diferencias en el tamaño y la composición corporal.<sup>21</sup> Las mujeres que, generalmente tienen más grasa en proporción al músculo que los varones, muestran tasas metabólicas menores, en un orden aproximado de un 5 a un 10%, que los varones de peso y talla similares.<sup>18</sup>

- El ciclo menstrual y el embarazo: la tasa metabólica de las mujeres adultas fluctúa con el ciclo menstrual, estimándose un promedio de 359 kcal/día de diferencia en la tasa metabólica basal entre su punto bajo, más o menos una semana antes de la ovulación en el día catorce, y su punto alto, justo antes de que comience la menstruación. El aumento medio en el consumo de energía es de cerca de 150 kcal/día durante la segunda mitad del ciclo menstrual.<sup>18</sup> Durante el embarazo, la tasa metabólica en reposo parece disminuir en las primeras etapas, en tanto que en las fases más adelantadas aumenta (del orden del 10-15% por cada kg de incremento de peso) debido a los procesos de crecimiento uterino, placentario y fetal y por el mayor trabajo cardíaco de la madre.<sup>23</sup>

- El balance neuroendocrino: el estado hormonal ejerce un efecto en la tasa metabólica, en particular en trastornos endocrinos, como el hipertiroidismo y el hipotiroidismo, en los que aumentan o disminuyen, respectivamente, las demandas de energía. La estimulación del sistema nervioso simpático, como la que se presenta durante la excitación emocional o el estrés, incrementa la actividad celular al liberar adrenalina, la que actúa directamente favoreciendo la glucogenólisis.<sup>9</sup> Otras hormonas como el cortisol, la hormona del crecimiento y la insulina, también influyen en la tasa metabólica.<sup>18</sup>

- Situaciones febriles: la fiebre aumenta la tasa metabólica en casi un 7% por cada grado de elevación en la temperatura corporal por encima de los 35,5° C, y en un 13% por cada grado superior a los 37° C.<sup>10,18</sup>

- Ejercicio físico: los atletas con más desarrollo muscular muestran un aumento de cerca de 5% en el metabolismo basal respecto a lo observado en individuos no atléticos, en virtud de su mayor masa libre de grasa. El ejercicio habitual no ocasiona una estimulación prolongada importante de la tasa metabólica por unidad de tejido activo, pero sí origina una tasa metabólica del 8 al 14% más alta en los varones con actividad de moderada a alta, debido a la mayor masa magra corporal.<sup>16,24</sup> Estas diferencias parecen estar relacionadas con el individuo y no con la actividad propiamente dicha.

### Efecto termogénico de la dieta

El efecto termogénico de los alimentos (ETD) constituye la fracción más pequeña del gasto energético total; en una dieta mixta no supera el 10% del gasto energético total y varía con la composición y el tamaño de la comida.<sup>10,11</sup>

El ETD consta de dos componentes: el obligatorio y el facultativo o adaptativo. El componente obligatorio representa el 60-70% de la respuesta térmica total y se debe al coste energético necesario para la digestión, absorción, distribución y almacenamiento de los nutrientes ingeridos. El sistema nervioso parasimpático controla este componente en todas aquellas fases en las que el organismo asimila los nutrientes. El componente facultativo o adaptativo viene modulado por el sistema nervioso simpático y supone el 30-40% del ETD.<sup>10</sup>

La valoración del efecto termogénico de un alimento o dieta se fundamenta en estimar el incremento del gasto energético sobre el nivel basal durante las 4-6 horas siguientes a su ingestión, normalmente con un equipo de calorimetría indirecta.<sup>3</sup>

El efecto térmico del alimento varía según la composición de la dieta, siendo mayor tras el consumo de hidratos de carbono y proteínas que de grasa. Esto se atribuye a la ineficacia metabólica del procesamiento de los carbohidratos y la proteína en comparación con las grasas.<sup>25</sup> Los lípidos se almacenan con eficiencia, con un desperdicio de sólo el 4%, en comparación con una pérdida del 25% cuando el hidrato de carbono es convertido en grasa para su almacenamiento. Estos factores pueden contribuir a que la grasa dietética favorezca la obesidad,<sup>26</sup> lo cual queda corroborado por la circunstancia de que el ajuste de la oxidación de la grasa ingerida parece ser más lento en sujetos obesos que en delgados.<sup>27,28</sup> Adicionalmente, parece ser que aquellos individuos genéticamente predispuestos a la obesidad podrían presentar una oxidación lipídica alterada en situaciones de post-obesidad.<sup>29,30</sup> Por tanto, el ajuste individual entre la composición de la mezcla de sustratos oxidada y la distribución de macronutrientes de la dieta podría jugar un papel crucial para permitir la estabilidad del peso a corto y largo plazo.<sup>31,32</sup>

Los alimentos condimentados favorecen y prolongan la acción del efecto térmico del alimento. Las comidas con chile y mostaza incrementan considerablemente la tasa metabólica en comparación con las comidas sin especias, y este efecto se prolonga por más de 3 horas.<sup>33</sup> El frío, la cafeína y la nicotina también estimulan el efecto térmico del alimento. La cantidad de cafeína de una taza de café (100 mg), si se ingiere cada dos horas durante 12 horas, aumenta el efecto térmico del alimento entre un 8 y un 11% sobre el nivel basal.<sup>34</sup> La nicotina ejerce un efecto similar.<sup>38</sup>

#### Actividad física

La energía consumida durante la actividad física es el componente más variable del consumo total de energía. Este componente del gasto energético fluctúa desde un mínimo del 10% en la persona confinada en una cama hasta más del 50% del consumo total de energía en deportistas. La energía consumida en las actividades físicas incluye la que se gasta con el ejercicio voluntario, así como la que se consume involuntariamente en actividades y en el control postural.<sup>35,36</sup>

El coste energético de la actividad física depende de factores como la composición corporal, la intensidad y duración del ejercicio, así como de la eficacia neta del trabajo. Por otra parte, la actividad física parece guardar una relación inversa tanto con la edad (Figs. 3, 4 y 5) como con la adiposidad.<sup>11,16</sup>

La energía consumida durante la actividad física tiende a disminuir con la edad, una tendencia que se relaciona con una declinación en la masa libre de grasa y un aumento de la masa adiposa. Los varones, por lo general, destinan más energía durante las actividades físicas que las mujeres, sobre todo a causa de su mayor tamaño corporal y masa libre de grasa.<sup>38</sup>

El ejercicio físico puede aumentar el consumo de oxígeno después de cesar la propia actividad, durante períodos que varían desde unos minutos hasta 24 horas según la intensidad de la actividad física y el grado de entrenamiento.<sup>35</sup> Esta respuesta post-ejercicio parece tener efecto en las tasas de oxidación de los sustratos metabólicos y podría favorecer balances energéticos y de grasa negativos. Así, la actividad física parece

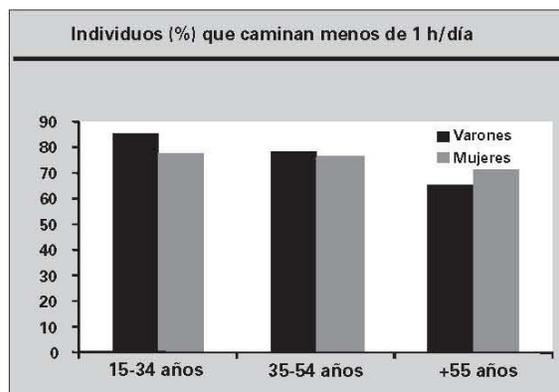


Figura 4. Porcentaje de individuos que caminan menos de 1 h/día en la Unión Europea.

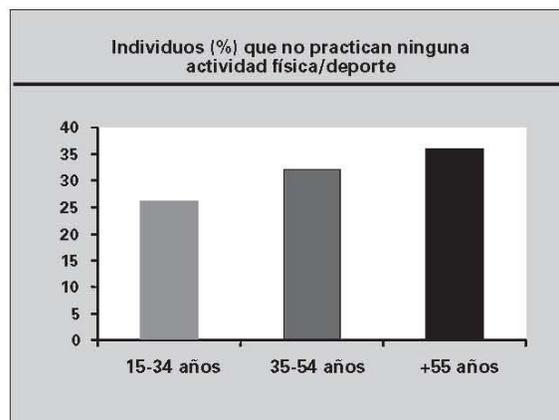


Figura 5. Porcentaje de individuos que no practican ningún tipo de actividad física/deporte en la Unión Europea.

ce tener la capacidad de aumentar la oxidación de grasa y de disminuir la ingesta tanto energética como lipídica en la fase posterior al ejercicio.<sup>37</sup>

La realización de ejercicio físico o el incremento de la actividad física cotidiana es capaz de aumentar el gasto energético total, al incrementar el gasto secundario a la actividad física voluntaria. Sin embargo, los sujetos obesos suelen presentar una gran dificultad para realizar ejercicio físico, ya que presentan un bajo nivel de entrenamiento y con frecuencia padecen problemas osteoarticulares.<sup>11,18</sup>

Los resultados disponibles sugieren que una situación de sedentarismo, evaluada a través de distintas estimaciones como horas sentado en tiempo de ocio, intensidad de la actividad física, etc., es un importante factor de riesgo de obesidad<sup>39,40,41</sup> (Fig. 6), aunque una menor respuesta termogénica a la ingesta y menores tasas de metabolismo basal también pueden tener un impacto sobre la ganancia de peso.<sup>9,42</sup>

Además, datos transversales han encontrado algún tipo de asociación entre la actividad física en el tiempo de ocio (inversa) o el tiempo destinado a estar sentado (directa) con el índice

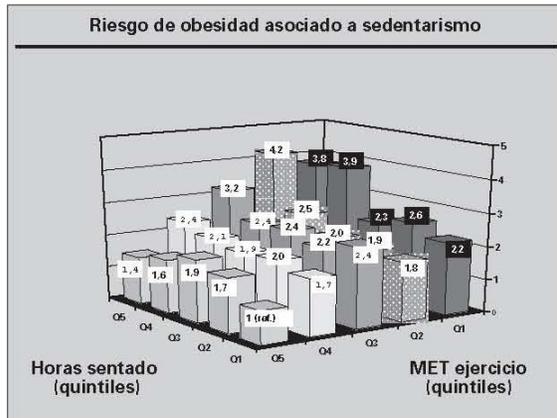


Figura 6. Riesgo de obesidad asociado a sedentarismo.

de masa corporal.<sup>41</sup> Así una baja participación en actividades deportivas, una ausencia de interés en participar en la actividad física y un alto número de horas de permanencia sentado en el trabajo son predictores significativos de la obesidad<sup>40</sup> (Fig. 6).

Las estimaciones relacionadas con la evolución de actividades sociales y el empleo de equipos electrodomésticos entre 1950 y 1990 señalan que los hombres y mujeres realizan ahora mucho menos ejercicio que hace una generación (Tabla 1). Actualmente, pocas ocupaciones serían clasificadas como muy activas en relación a varias decenas de años atrás.<sup>4</sup> Estos datos, sin embargo, no ofrecen una explicación sobre si existe una relación causa-efecto entre la asociación inversa del IMC y la actividad física, dificultando conocer si los obesos son menos activos a causa de su obesidad o si su sedentarismo causa la obesidad.<sup>36,43,44</sup> Algunas informaciones complementarias sobre las tendencias en el gasto energético muestran que los niveles crecientes de prevalencia de obesidad se deben a modelos de reducción de actividad física y de aumento de las conductas sedentarias en diversas poblaciones.<sup>4,21</sup>

Otros estudios y cuestionarios, utilizando indicadores indirectos de actividad física como horas dedicadas a ver la televisión,<sup>45,46</sup> número de coches por hogar<sup>47</sup> y número de horas sentado durante el tiempo de ocio,<sup>7,42</sup> señalan que la reducción del gasto energético podría ser un determinante importante de la evolución de las tasas de obesidad en la actualidad.<sup>48,49,50</sup>

### Métodos de valoración de la actividad física

La actividad física habitual en adultos ha sido asociada a un menor riesgo de enfermedades coronarias,<sup>51</sup> diabetes,<sup>52</sup> osteoporosis<sup>53</sup> y ciertos tipos de neoplasia.<sup>54</sup> Además, el ejercicio físico tiene efectos beneficiosos sobre indicadores fisiológicos importantes como la tolerancia a la glucosa y la sensibilidad a la insulina, el peso corporal y la tensión arterial.<sup>55,56</sup> Por estas razones, fomentar la actividad física en la población sedentaria es de vital importancia para la salud pública.<sup>57</sup>

Actualmente, se estima que entre un 54% y 60% de los adultos americanos son insuficientemente activos para obtener beneficios en su estado de salud y un 25% son completamente

Tabla 1. Evolución de la energía destinada a diferentes actividades entre 1950 y 1990

Energía destinada a diferentes actividades	
Década de los 50	Década de los 90
Jugar 900 kcal/4 horas.	Ver la televisión: 310 kcal/4 horas.
Comprar por la calle: 2.500 kcal /semana.	Comprar en grandes centros: 1.000 kcal /semana.
Cortar el césped a mano: 500 kcal/hora.	Cortadora eléctrica: 180 kcal /hora.
Hacer la cama: 575 kcal/semana.	Echar el edredón: 30 kcal/semana.
Hacer fuego con leña: 11.300 kcal/semana.	Encender fuego de gas: casi sin gasto calórico
Lavado de ropa a mano: 1.500 kcal /día.	Poner la lavadora: 280 kcal/2 horas.
Coche sin dirección asistida: 96 kcal/hora.	Coche con dirección asistida: 20 kcal/hora.

inactivos o sedentarios.<sup>58</sup> A pesar de que se puede caracterizar la población en general, es muy difícil conocer los patrones de actividad física de cada segmento de la población,<sup>59</sup> y cuando se trabaja con grupos que son considerados sedentarios (obesos, mujeres, diabéticos tipo 2), los profesionales de la salud encuentran grandes dificultades para poder cuantificar los niveles de actividad física debido a la falta de un método de medida patrón o de referencia.<sup>60</sup>

Un instrumento de medida de la actividad física apropiado y validado es un verdadero desafío, ya que la contribución relativa de cada uno de sus componentes (actividades ocupacionales, deportes, recreación y actividades de la vida cotidiana como comer, aseo, etc.) puede variar considerablemente entre individuos y poblaciones. Además, la valoración es aún más complicada debido a que existen dimensiones de la actividad física relacionada con la salud como el gasto calórico, la intensidad aeróbica, la oxidación de nutrientes, la flexibilidad y la fortaleza de cada individuo.<sup>61</sup> Por lo tanto, la dificultad en la definición de la calidad y precisión en la determinación de algunas de estas dimensiones limitan la posibilidad de detectar asociaciones significativas entre enfermedades como la diabetes o la obesidad con el sedentarismo.<sup>62</sup>

En la actualidad, existen métodos directos e indirectos para la determinación de actividad física y/o gasto energético total (Tabla 2). Los métodos directos incluyen: calorimetría, agua doblemente marcada, acelerómetros, registro diario de actividades, etc.<sup>61,62</sup> Los métodos indirectos incluyen mediciones metabólicas, del estado físico, antropometría, frecuencia cardíaca, cuestionarios autodefinidos y encuestas.<sup>60,63</sup>

Estas herramientas de evaluación han sido utilizadas para medir varias dimensiones y atributos de la actividad física y muchos métodos se han focalizado en la cantidad de energía gastada.<sup>64</sup> Las ventajas y desventajas de cada uno de ellos depende de la población a estudiar y de los objetivos que se desean alcanzar (Tabla 2).

El cuestionario autodefinido de actividad física es práctico para la obtención de datos en muestras de tamaño muy grande, siendo de gran utilidad para el estudio y seguimiento de po-

**Tabla 2.** Métodos directos e indirectos de evaluación de actividad física

Método	Fundamentos	Aplicaciones	Referencias
Calorimetría indirecta	La calorimetría indirecta estima el gasto energético midiendo el intercambio gaseoso (consumo de O <sub>2</sub> y producción de CO <sub>2</sub> ) y las tasas de oxidación de sustratos.	Esta técnica puede ser utilizada para medir el metabolismo basal o gasto energético en reposo, así como el gasto por actividad física, el efecto termogénico de la dieta y el gasto energético total.	46, 66-68.
Agua doblemente marcada (H, <sup>18</sup> O)	El método consiste en administrar una solución de agua enriquecida con deuterio y oxígeno 18. Posteriormente, los isótopos son medidos secuencialmente en muestras de agua corporal (saliva, orina, plasma) a partir de diversas ecuaciones. La proporción de cada isótopo eliminado da la medida de dióxido de carbono producido.	El empleo de isótopos estables es considerado el método de referencia para la determinación del gasto energético de sujetos en su medio habitual, aunque se requieren equipos relativamente sofisticados para su cuantificación.	68-70, 72.
Monitor de frecuencia cardíaca	La relación entre el gasto energético y la frecuencia cardíaca es una característica individual determinada por la edad, sexo, estado nutricional y actividad física, etc.	Este método ha sido validado con calorimetría indirecta y agua doblemente marcada para estimar el gasto energético a partir de determinaciones ambulatorias continuas de la frecuencia cardíaca.	68-70.
Acelerómetro	Esta metodología mide la frecuencia y la magnitud de las aceleraciones y desaceleraciones de los movimientos corporales. El gasto energético total puede ser estimado basándose en la edad, sexo, talla y peso del individuo.	Pueden medir la intensidad y la velocidad de los movimientos en 1 (uniaxial) ó 3 (triaxial) planos. Los acelerómetros han sido validados bajo condiciones habituales de vida con calorimetría indirecta y agua doblemente marcada.	63, 68, 71.
Diarios y cuestionarios de actividad física	Los diarios de actividad física implican el recuerdo de actividades diarias y está limitado por la cooperación del sujeto.	El objetivo de los cuestionarios es estimar retrospectivamente la actividad física habitual, generalmente de un período de tiempo mayor a un año. Pocos cuestionarios o diarios han sido validados correctamente.	56, 60, 61, 63, 68, 72.
Otros	Otros métodos de evaluación de actividad física han sido utilizados como la cinematografía (vídeos, etc.), mediciones metabólicas, del estado físico, fuerza física, antropometría, etc.	Las aplicaciones varían en función del método, características individuales, precisión, fiabilidad, coste, etc.	63, 73-77.

blaciones. Este instrumento puede ser ajustado con el fin de obtener comportamientos y hábitos de actividad física en adultos sedentarios, pero puede resultar difícil evitar los sesgos propios del recordatorio y los efectos de los niveles mínimos de frecuencia utilizados para cada pregunta.<sup>60</sup> Por ello, este método tiene un valor limitado en proyectos que requieren gran precisión como los ensayos clínicos, evaluación de programas, etc.<sup>63</sup>

La magnitud de la actividad física puede calcularse asignando equivalentes metabólicos (MET) a cada actividad reflejada en los cuestionarios de actividad física.<sup>40</sup> Los MET representan la cantidad de energía empleada por el organismo durante la realización de una actividad física respecto a la empleada estando sentado y en reposo, en una determinada unidad de tiempo. Un MET viene aplicándose a un consumo de oxígeno de 3,5 ml por kilogramo de peso y por minuto. Para estimar la cantidad total de actividad física en una semana (MET-horas) se multiplica el número de horas semanales dedicadas a una determinada actividad por la asignación de equivalentes metabólicos específica de esa actividad. Por último,

sumando los MET-hora correspondientes a todas las actividades durante una semana se obtiene globalmente la cantidad de MET-horas/semana de cada participante en el estudio.

Entre los métodos directos, el acelerómetro triaxial es uno de los instrumentos más precisos de evaluación cuantitativa de la actividad física en la población general y en sujetos obesos sedentarios.<sup>3,16</sup> Los acelerómetros permiten detectar tanto la frecuencia como la velocidad de los movimientos en tres dimensiones. Este método es especialmente útil para estudios de gran precisión y para validación de métodos indirectos de estimación de actividad física.<sup>63</sup>

Los estudios epidemiológicos generalmente utilizan mediciones subjetivas, como los cuestionarios, para evaluar la actividad física de una población. Los cuestionarios de actividad física son apropiados para estudios poblacionales porque son prácticos, fiables, no influyen en la respuesta del encuestado y pueden ser diseñados para cada población en particular.<sup>62</sup> Los métodos objetivos son más precisos en la medida, pero no son prácticos para estudios epidemiológicos, por lo tanto, sólo pue-

den ser utilizados para validación de otros métodos o para ensayos clínicos.<sup>62,65</sup> Por último, los estudios de validación de métodos son de gran importancia porque permiten garantizar la fiabilidad y la calidad de la evaluación de la actividad física.

## Bibliografía

- Martínez JA. Body-weight regulation: causes of obesity. *Proc Nutr Soc* 2000; 59: 337-45.
- Friedman JM. Obesity in the new millennium. *Nature* 2000; 404: 632-4.
- Jebb SA, Prentice AM. Assessment of human energy balance. *J Endocrinol* 1997; 155: 183-5.
- OMS report Obesity (2000): preventing and managing the global epidemic. WHO consultation on Obesity, Genova: World Health Organization. (Technical series 894).
- Martínez JA, Moreno MJ, Marqués-López I, Martí A. Causas de obesidad. *Anales Sis San Navarra* 2002; 25: 17-27.
- Seidell J. Obesity in Europe: scaling an epidemic. *Int J Obes* 1995; 3: S1-S4.
- Martínez JA, Kearney JM, Kafatos A, Paquet S, Martínez-González MA. Variables independently associated with self reported obesity in the European Union. *Public Health Nutr* 1999; 2: 125-33.
- SEEDO (2000). Consenso para la evaluación del sobrepeso y la obesidad. Criterios de intervención terapéutica. Sociedad Española para el estudio de la Obesidad. *Med Clín (Barc)* 2000; 115: 587-97.
- Jequier E, Tappy L. Regulation of body weight in humans. *Physiol Rev* 1999; 79: 451-80.
- Martínez JA. Fundamentos teórico-prácticos de nutrición y dietética. En: Martínez JA (ed.). Balance energético: peso y composición corporal. McGraw-Hill Interamericana: Madrid, 1998, pp. 37-50.
- Labayen I, Rodríguez C, Martínez JA. Nutrición y Obesidad. En: Astiasarán I, Lasheras B, Ariño D, Martínez JA (ed.). Alimentos y nutrición en la práctica sanitaria. Eurograf Navarra, S.L.: Pamplona, 2002, pp. 371-92.
- Escobar L, Espinosa J. Regulación de la ingesta. Control del apetito. En: Moreno B, Monereo S, Álvarez J (ed.). Obesidad: la epidemia del siglo XXI, Roche. 1999.
- Pu S, Dube M, Edwards T, Kalra S, Kalra P. Disruption of neural signaling within the hypothalamic ventromedial nucleus upregulates galanin gene expression in association with hyperphagia: an in situ hybridation analysis. *Brain Res Mol Brain Res* 1999; 64: 85-91.
- Weinsier RL, Hunter, GR, Heini AF, Goran MI, Sell SM. The etiology of obesity: relative contribution of metabolic factors, diet, and physical activity. *Am J Med* 1998; 105: 145-50.
- Mataix J. Nutrición y alimentación humana. Ergon: Madrid, 2002.
- Adams GM. Exercise physiology: laboratory manual. McGraw-Hill Interamericana: Boston, 2002.
- Napoli R, Horton, E. Energy requirements. Present knowledge in nutrition. Ed. Ziegler E, Filer L, 1-6. ILSI Press: Washington DC, 1996.
- Johnson RK. Energía. En: Mahan K, Escott-Stump S (ed.). Nutrición y dietoterapia de Krause. Mc Graw Hill Interamericana: México, 2001, pp. 20-32.
- Bouchard C, Tremblay A, Nadeau A. Genetic effect in resting and exercise metabolic rates. *Metabolism* 1989; 38: 364-70.
- Poehlman ET, Horton ES. Energy needs: Assessment and requirements in humans. En: Bloch AS, Shills ME (ed.). Modern Nutrition in Health and Disease. Williams & Wilkins: Baltimore, 1998.
- Weinsier R, Nelson K, Hewnsrud D, Darnell B, Hunter G, Schutz Y. Metabolic predictors of obesity. *J Clin Invest* 1995; 95: 980-5.
- Poehlman ET. Regulation of energy expenditure in aging humans. *Geriatr Biosci* 1993; 41: 552.
- Goldberg GR. Longitudinal assessment of energy expenditure in pregnancy by the doubly labeled water method. *Am J Clin Nutr* 1993; 57: 494.
- Horton T, Geissler C. Effect of habitual exercise on daily energy expenditure and metabolic rate during standardized activity. *Am J Clin Nutr* 1994; 59: 13.
- Owen O, Kavle E, Owen R, Polansky M, Caprio S, Mozzoli M, et al. A reappraisal of caloric requirements in healthy women. *Am J Clin Nutr* 1986; 44: 1-19.
- Prentice AM. All calories are not equal. *International Dialogue on Carbohydrates* 1995; 5: 1.
- Jequier E, Acheson K, Schutz Y. Assessment of energy expenditure and substrate utilization. *Ann Nutr Rev* 1987; 7: 187-208.
- Piers LS, Walker KZ, Stoney RM, Soares MJ, O'Dea K. Influence of the type of dietary fat on postprandial fat oxidation rates. *Int J Obes* 2002; 26: 814-21.
- Leibel RL, Rosebaum M, Hirsch J. Changes in energy expenditure resulting from altered body weight. *N Engl J Med* 1995; 332: 621-8.
- Ravussin E, Gautier JF. Metabolic predictors of weight gain. *Int J Obes* 1999; 23: 37-41.
- Karhunen L, Fransilla Kallunki A, Rissanen A, Kervinen K, Kesaniemi YA, Uusitupa M. Determinants of energy expenditure in obese non-diabetic Caucasian women. *Int J Obes* 1997; 21: 197-202.
- Flatt JP. Body composition, respiratory quotient and weight maintenance. *Am J Clin Nutr* 1995; 62: 1107S-17S.
- McCrorry P. Energy balance, food intake and obesity. En: Hills AP, Wahlqvist ML (ed.). Exercise and obesity. Smith-Gordon and Co. Ltd.: London, 1997.
- Dulloo AG. Normal caffeine consumption: Influence on thermogenesis and daily energy expenditure in lean and post obese human volunteers. *Am J Clin Nutr* 1989; 49: 44.
- Ibáñez J, Eseverri C. Ejercicio físico en la prevención y tratamiento de la obesidad. *Nutr Obes* 2002; 5: 59-66.
- Hills AP, Birne NM. Exercise prescription for weight management. *Proc Nutr Soc* 1998; 57: 93-103.
- Macho-Azcárate T, Calabuig J, Martí A, Martínez, JA. A maximal effort trial in obese women carrying the b2-adrenoceptor Gln27Glu polymorphism. *J Physiol Biochem* 2002; 58: 103-8.
- Forga L, Petrina E, Barbería, J.J. Complicaciones de la obesidad. *Anales Sis San Navarra* 2002; 25: 117-26.
- Beer-Borst S, Morabia A, Hercberg S, Vitex O, Bemstein MS, Galan P. Obesity and other health determinants across Europe: The EURALIM Project. *J Epidemiol Community Health* 2000; 54: 424-430.
- Martínez-González MA, Varo JJ, Santos JL, De Irala J, Gibney M, Kearney J. Prevalence of physical activity during leisure time in the Europe Union. *Medicine & Sci Sports Exercise* 2001; 31: 1121-31.
- Varo JJ, Martínez-González MA, Irala J, Kearney J, Gibney MJ, Martínez JA. Determinants of sedentary lifestyles in the European Union. *Int J Epidemiol* 2003; 32: 138-46.
- Albo J, Shor M, Curi M, Murphy L, Heymsfield SB, Pi-Sunyer FX. Resting metabolic rate in obese women. *Am J Clin Nutr* 1997; 66: 531-8.
- Saris WH. Fit, fat and fat free: the metabolic aspects of weight control. *Int J Obes* 1998; 22: 15-21.
- Tremblay A, Doucet E, Imbeault P. Physical activity and weight maintenance. *Int J Obes* 1999; 23: 50-4.
- Dietz WH. The role of lifestyle in health: the epidemiology and consequences of inactivity. *Proc Nutr Soc* 1996; 55: 829-40.
- Prentice AM. Obesity and its potential mechanistic bases. *Br Med J* 2001; 60: 51-7.



DIFERENCIAS EN LA ESTIMACIÓN DE GASTO ENERGÉTICO  
POR ACTIVIDAD ENTRE EL MÉTODO FACTORIAL  
Y ESTIMACIONES DIRECTAS USANDO RITMO CARDIACO  
EN CAMPESINOS DE CALAKMUL, CAMPECHE, MÉXICO  
EN CONDICIONES DE CAMPO

Alayón Gamboa José Armando  
Gurri García Francisco Delfín

*Departamento de Población y Ambiente, El Colegio de la Frontera Sur*

RESUMEN

Este trabajo compara el método factorial (MF) que utiliza tablas de actividad física de referencia que publicó la FAO (1985) para estimar gasto energético por actividad (GEA), con el GEA obtenido a través del uso de un monitor de ritmo cardiaco marca Polar Mod M51 en 20 individuos de hogares campesinos de la selva de Calakmul, Campeche, México en condiciones de campo. Las mediciones se hicieron durante el periodo de la cosecha de octubre de 2001 a enero de 2002 y durante el periodo de preparación y siembra del terreno del siguiente ciclo agrícola de febrero a mayo de 2002. Aunque no se encontraron diferencias significativas en los promedios estimados a través de cada método usando una *t-de student*, cuando se hizo la regresión del GEA estimado por el MF en el GEA determinado por ritmo cardiaco, éste sobreestimó al primero por 18.7 %. Las subestimación se incrementa con niveles de actividad física. Se encontró una sobreestimación del método factorial de 424.62 kcal cuando hay poca actividad física hasta una subestimación de 874.00 kcal cuando hay mucha actividad.

PALABRAS CLAVE: gasto energético, asignación de tiempos, método factorial, ritmo cardiaco, Campeche.

ABSTRACT

This paper compares energy expenditure by physical activity (EEA) estimated using metabolic constants as a reference for distinct activities outlined by the

FAO (1985) and which make reference to the required physical activity levels (PAL) in order to carry out a determined activity (factorial method FM), with the EEA estimated using a Polar Mod M51 hart rate monitor on 20 agriculturalist household members from the tropical forests of Calakmul, Campeche under field conditions. Measurements and observations were made during the 2001-2002 harvest season from October to January, and the 2002 field preparation and planting season from February to May. While no significant differences were obtain between estimates using a student t distribution, a regression of EEA FM estimates on EEA hart rate estimates, showed that the FM underestimates hart rate EEA by 18.7 %. The underestimation increases with PAL. FM overestimations of as much as 424.62 kcal/ day were observed with low PALs and underestimations of 874.00 kcal with high PALs.

KEY WORDS: energy expenditure, time asignation factorial method, heart rate, Campeche.

## INTRODUCCIÓN

Para estimar el gasto total de energía de un individuo durante sus actividades cotidianas la FAO (1985) recomienda el uso del método que se conoce como “factorial” (Johnson 1975; Gross 1984; Mueller 1999). Éste consiste en observar y registrar directamente todas las actividades en las que el sujeto participa durante el día, o en visitar a los sujetos en intervalos pre-definidos y obtener un reporte oral de las actividades realizadas por el sujeto desde la última plática, y posteriormente, convertir los tiempos de actividad en equivalentes energéticos. Para esto se emplean tablas de referencia que estiman costos energéticos para cada tipo de actividad controlando por sexo, edad y peso (Passmore y Durnin 1955; FAO 1985; Ainsworth *et al.* 2000). El gasto total diario de energía (GTDE) se obtiene mediante la suma del gasto de energía de cada actividad registrada durante el día.

Aunque este método ha sido validado con otros como el de calorimetría indirecta en condiciones de laboratorio (Geissler *et al.* 1986), su aplicación durante trabajo de campo en poblaciones libres está sujeta a diferentes fuentes de error. Los estudios donde se observan y anotan las actividades de cada sujeto, por ejemplo, son intrusivos y pueden interferir con los patrones de actividad normal de los sujetos de estudio. Si se usan técnicas donde se pide al sujeto que recuerde sus

actividades se pierde precisión ya que las poblaciones rurales no viven con el reloj en mano. En general, estos contratiempos subestiman el gasto de energía en condiciones de vida libre (Roberts *et al.* 1991). La mayor fuente de error, sin embargo, surge de la aplicación de tablas de gasto energético cuyos valores estándar pueden no ser aplicables a poblaciones genéticamente distintas a las del patrón, pero sobre todo, cuando se aplican a poblaciones que realizan sus actividades en ambientes distintos a aquellos donde se establecieron las normas. Esta situación es particularmente grave en el trópico, donde el calor y la humedad del ambiente pueden demandar de las mismas actividades gastos de energía muy diferentes a los establecidos en los ambientes templados donde se establecieron las normas (Passmore y Durnin 1955; FAO 1985; Ainsworth *et al.* 2000).

Ante esta disyuntiva se han explorado nuevos métodos aplicables en condiciones de campo que permitan medir directamente el gasto de energía con precisión y sin causar molestias a los sujetos de estudio. La capacidad de estimar gasto energético a través del monitoreo del ritmo cardiaco y la capacidad de éste de cuantificar los patrones de actividad con bajo costo energético, hicieron de este método una posible herramienta para medir el gasto total de energía fuera del laboratorio (Leonard *et al.* 1995; Leonard 2003). La invención de medidores que pueden ser utilizados sin ser sentidos por el sujeto de estudio, ni detectados por los que lo rodean, hicieron del monitoreo del ritmo cardiaco una herramienta útil para estimar gasto energético en condiciones de campo (Bradfield 1971). Esta herramienta ha demostrado una gran precisión después de haber sido sometida varias veces a una rigurosa validación en condiciones rurales en campo (Spurr *et al.* 1988; Livingstone *et al.* 1992; Leonard 2003).

Durante el fin del ciclo agrícola 2000-2001 y principios del ciclo 2001-2002, un equipo de la línea de investigación de Antropología Ecológica del Colegio de la Frontera Sur realizó un estudio de distribución de tiempos entre agricultores de siete comunidades del municipio de Calakmul, Campeche pertenecientes a dos estrategias adaptativas definidas por Gurri y colegas (2002). El municipio se encuentra 350 km al sur de la capital del estado, en la zona que abarca la reserva de la biosfera de Calakmul (figura 1). En esta región predomina un clima tropical cálido subhúmedo (García 1988). La precipitación anual fluctúa entre

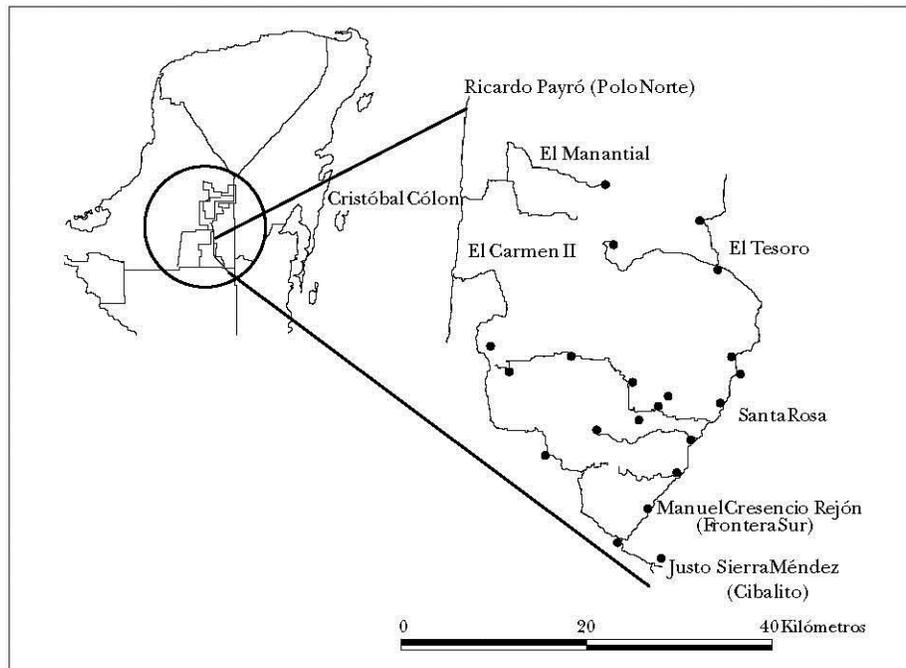


Figura 1. Ubicación geográfica de las comunidades donde se realizó el estudio.

los 1 100 y 1 500 mm<sup>3</sup>, de los cuales el 83% ocurre entre mayo y noviembre y el restante 17% en el periodo de sequía (INEGI 1981). La estacionalidad de las lluvias permite a los campesinos de la zona levantar dos cosechas al año: la primera en octubre y noviembre y la segunda, el tornamil, en enero.

Entre 2001 y 2002 se registraron 6 528 horas de observación continua a 272 personas (Gurri *et al.* 2004) para estimar el GTDE de cada uno utilizando las tablas de referencia de la FAO (1985). Para poder estimar el error generado por la aplicación de las tablas de actividad física, se midió el ritmo cardiaco en algunos sujetos durante sus actividades para calcular su gasto de energía por actividad física (GEA) directamente. A continuación presentamos el resultado de este estudio. Su objetivo fue comparar los valores obtenidos de sumar el gasto de cada actividad registrada usando el método factorial con los GEA estimados directamente a través de la medición del ritmo cardiaco. La publicación de estos

resultados no solo servirá para verificar las conclusiones del estudio de distribución de tiempos que motivó este estudio, sino que contribuirá a establecer una referencia que sirva como parámetro para evaluar el resultado de estudios similares realizados anteriormente en el trópico (Daltabuit *et al.*, 1988) y otros que puedan realizarse en el futuro.

#### MATERIAL Y MÉTODOS

Se colectaron datos de antropometría, de actividad por asignación de tiempos y se monitoreó el gasto cardiaco en una muestra de los individuos que participaron en el proyecto “Aprovechamiento de alimentos regionales con elevado valor biológico en la dieta de familias de Calakmul” entre octubre de 2001 y noviembre de 2002 (Gurri *et al.* 2004). La estrategia para la obtención de esa muestra se presenta en otras publicaciones (Gurri *et al.* 2004; Alayón y Gurri 2005). Para este estudio de validación se seleccionó una submuestra de 20 personas: doce adultos y ocho adolescentes a los que se midió el ritmo cardiaco y gasto de energía unos durante la temporada de las cosechas entre octubre de 2001 y enero de 2002 y otras durante la tumba quema y siembra del nuevo ciclo entre febrero y mayo de 2002 (cuadro 1).

*Cuadro 1*  
Composición de la muestra por sexo, edad y temporada de medición

Edad en años	Temporada Cosecha		Preparación y siembra del terreno	
	♂	♀	♂	♀
10 - 14	1	1	0	2
15 - 19	1	0	2	1
≥ 20	4	2	3	3
Total	6	3	5	6

Las variables antropométricas necesarias para la estimación de gasto energético fueron tomadas por dos técnicos antropometristas entrenados por los autores. Las personas se pesaron por la mañana, inmediatamente después de despertar y antes de ingerir alimentos el día en que se hicieron las observaciones de comportamiento y se midió el ritmo cardiaco. Se registró el peso individual en una báscula electrónica digital con capacidad de 136 kilogramos (kg) y una precisión de 0.200 kg (TANITA modelo TBF 621, Arlington Heights, USA). La talla se registró con un antropómetro tipo Harpenden abatible con escala de 1 mm (GPM Swiss). El perímetro del brazo se midió con una cinta métrica flexible tipo sastre y el tejido subcutáneo en la región del bíceps, tríceps, subescapular y suprailíaco con un plicómetro tipo LANGE, con precisión de  $\pm 1$  mm (Beta Technology Inc.), de acuerdo con las recomendaciones de Frisancho (1999). El peso y la talla se emplearon para estimar la tasa metabólica basal (TMB) usando las ecuaciones de Schoefield (1985) ajustadas para sexo y edad (FAO 1985). En los adultos, el porcentaje de grasa corporal (% GC) se calculó empleando la ecuación de Siri (1956) y la densidad corporal se estimó con la ecuación de Durnin y Womersley (1974). En los adolescentes se estimó el área total del brazo (ATB), área muscular del brazo (AMB) y área grasa del brazo (AGB). En todos los sujetos se determinó el índice de masa corporal (IMC) y la masa corporal libre de grasa (MCLG) (Cuadro 2).

Se capacitó a un equipo de nueve personas para realizar el estudio de distribución de tiempos. La capacitación del equipo de trabajo involucró un periodo de entrenamiento en campo en el que se observaron y grabaron por una semana todas las actividades realizadas por cada miembro de la familia en periodos de 24 horas. Estas actividades fueron codificadas y organizadas en un diario de registro de actividades. Más adelante, este diario se utilizó durante los periodos de observación estructurada. Durante estos últimos, se siguió a cada miembro de la familia por periodos de 24 horas. Cada 15 minutos se observaba lo que la persona estaba haciendo y se registraba en el diario de campo. Metodologías similares fueron utilizadas por Passmore y Durnin (1955) y Bauchar *et al.* (1983).

A cada actividad registrada en el diario se le asignó un estimado de gasto energético basándose en las tablas de referencia de la FAO (1985) que clasifican las actividades en equivalentes a múltiplos del

*Cuadro 2*  
Fórmulas para estimar el índice de masa corporal, área total del brazo, área muscular del brazo, área grasa del brazo y porcentaje de grasa corporal

Variable	Procedimiento
Índice de masa corporal (IMC) <sup>1</sup>	Peso (kg) / talla (m <sup>2</sup> )
Área total del brazo (ATB) (cm <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>	$C^2 / (4 \times \pi)$
Área muscular del brazo (AMB) (cm <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>	$[C - (Pts \times \pi)^2 / (4 \times \pi)]$
Área grasa del brazo (AGB) (cm <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>	ATB - AMB
Grasa corporal (%) <sup>2</sup>	$((4.95 / D) - 4.5) \times 100$ (D) <sup>3</sup> Hombres = $1176.6 - 74.4 \times \text{Log}$ (promedio pliegues) (D) Mujeres = $1156.7 - 71.7 \times \text{Log}$ (promedio pliegues)
Masa corporal libre de grasa (MCLG) (g)	Peso corporal - Grasa corporal

Fuente: <sup>1</sup>Frisancho (1999); C= circunferencia; Pts= Grosor del pliegue del tríceps;  $\pi= 3.1416$ . <sup>2</sup> Siri (1949), <sup>3</sup> Durnin y Womersley (1974).

metabolismo basal. El gasto energético que representó el ritmo diario de actividad se calculó mediante el método factorial, empleando las constantes metabólicas para distintas actividades señaladas por la FAO (1985) y que hacen referencia al nivel de actividad física (NAF) requerido para desempeñar una determinada actividad. Los procedimientos para calcular el gasto total de energía (GTE), el gasto de energía para el mantenimiento del metabolismo basal (MB) y el gasto de energía por actividad física (GEA) se presentan en el cuadro 3. Finalmente se generó una base de datos y se diseñó un software (SIIPCA véase 1.0) que hiciera los cálculos para estimar gasto energético, nivel de actividad física y composición corporal durante la captura de información.

*Cuadro 3*  
Estimación del gasto de energía (kcal /día) en adolescentes  
y adultos

Variable	Cálculo
Tasa metabólica basal (MB) <sup>1</sup>	Hombre 10-18 <sup>2</sup> = 17.5 (P) + 651; 18-30 = 15.3 (P) + 679; 30-60 = 11.6 (P) + 879; >60 = 13.5 (P) + 487; Mujer 10-18 = 12.2 (P) + 746; 18-30 = 14.7 (P) + 496; 30-60 = 8.7 (P) + 829; >60 = 10.5 (P) + 596;
Gasto total de energía (GTE) <sup>1</sup>	MB x Promedio de NAF <sup>3</sup>
Gasto de energía por actividad (GEA)	GTE – MB

<sup>1</sup>Fuente: FAO (1985). <sup>2</sup> Años de edad; <sup>3</sup> Promedio de 96 observaciones por individuo por día.

Para cuantificar el gasto energético se colocó a cada individuo un monitor de ritmo cardiaco (heart rate monitor, Polar Mod M51), inmediatamente después de registrarse su peso y talla. El transmisor de señales del latido cardiaco se colocó a la altura del pecho siguiendo las especificaciones de uso del fabricante. Se humedeció con agua la superficie en contacto con la piel para facilitar la transmisión de señales y se ajustó el cinturón procurando no interferir con los movimientos de los individuos. El transmisor registró el número de latidos cardiacos por minuto y la señal se envió a un reloj de pulsera. El reloj fue alimentado con información del peso (kg), talla (cm), edad (años), sexo y nivel de actividad física del individuo. Los monitores se colocaron el día que se observó la distribución y asignación de tiempos por actividad. Cada individuo usó el monitor por un periodo de tiempo promedio de 8.5 horas durante el día. Con base en la información del peso, talla, edad, sexo, nivel de actividad física y los latidos cardiacos por minuto se cuantificó el gasto energético total mediante ecuaciones de regresión (Payne *et al.* 1971). Los datos de antropometría y el gasto energético con los métodos probados se analizaron por comparación de medias

“t” student. Para establecer el grado de correlación entre el método factorial y el gasto cardiaco se realizó una prueba de correlación de Pearson y se analizó el grado de concordancia entre los dos métodos mediante la aproximación estadística recomendada por Bland y Altman (1986); todos los análisis fueron realizados con el paquete estadístico SPSS, versión 11.5 (SPSS 2002).

## RESULTADOS

En el cuadro 4 se presentan las mediciones antropométricas para los dos periodos del año. Los individuos no mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre ambos periodos y estuvieron dentro del promedio del IMC y AMB señalado para ambos sexos (Frisancho 1999). Sólo se observó una diferencia significativa ( $P < 0.001$ ) en la talla entre hombres y mujeres, los hombres promediaron  $159.2 \pm 6.9$  cm y las mujeres  $148.44 \pm 4.25$  cm.

*Cuadro 4*  
Mediciones antropométricas en dos periodos de trabajo agrícola en Calakmul, Campeche<sup>1</sup>

	Edad	Peso	Talla	IMC <sup>2</sup>	GC <sup>3</sup>	ATB <sup>4</sup>	AMB <sup>5</sup>	AGB <sup>6</sup>
Periodo	años	kg	cm	kg/m <sup>2</sup>	%	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>
Cosecha <sup>7</sup> (n=9)	26.92 ± 15.86	60.00 ± 16.31	152.82 ± 7.18	25.50 ± 6.38	23.22 ± 6.11	64.55 ± 26.27	43.23 ± 14.65	21.26 ± 14.24
Poscosecha <sup>8</sup> (n=11)	27.80 ± 14.80	62.02 ± 11.62	156.22 ± 8.81	25.14 ± 3.56	23.50 ± 5.13	59.44 ± 16.11	41.56 ± 10.25	17.88 ± 8.18
P<0.05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

<sup>1</sup> Media ± desviación estándar; <sup>2</sup> índice de masa corporal; <sup>3</sup> grasa corporal; <sup>4</sup> área total del brazo; <sup>5</sup> área muscular del brazo; <sup>6</sup> área grasa del brazo; <sup>7</sup> octubre-enero; <sup>8</sup> febrero-mayo; ns: no significativo estadísticamente a  $P < 0.05$ .

El cuadro 5 presenta las estimaciones de gasto energético promedio de los individuos medidos por el método factorial y el ritmo cardiaco en cada temporada de medición. A pesar de las diferencias en la composición de la muestra, no existieron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el gasto energético por metabolismo basal entre temporadas. Tampoco hubo diferencias significativas entre las estimaciones de GEA utilizando el método factorial y el ritmo cardiaco en ninguna de las dos temporadas. No obstante, el GEA estimado por el método factorial muestra diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre las estimaciones hechas en los individuos medidos en la temporada de la cosecha y los medidos en la siguiente temporada mientras que el GEA estimado utilizando el ritmo cardiaco no. De acuerdo con las estimaciones del método factorial los sujetos medidos en el periodo de las cosechas gastaron más energía que la que utilizaron los sujetos medidos en el periodo de la preparación del terreno y siembra ( $1171.38 \pm 422.01$  kcal, octubre-enero vs  $815.75 \pm 234.72$  kcal, febrero-mayo 2002;  $P < 0.05$ ). La misma tendencia fue registrada por las estimaciones de GEA utilizando ritmo cardiaco ( $1428.22 \pm 832.48$  kcal, octubre-enero y  $1014.09 \pm 443.27$  kcal, febrero-mayo). Las diferencias sin embargo, no fueron significativas  $p=0.20$ .

La figura 2 muestra la relación en la estimación del GEA con el método factorial y el método de ritmo cardiaco. Las estimaciones entre ambos métodos mostraron una baja correlación ( $r=0.31$ ,  $P > 0.05$ ) y se observó una pendiente de la regresión (factorial vs gasto cardiaco) menor a la del origen ( $b= 0.18$ ) indicando que el método factorial

*Cuadro 5*

Gasto energético (kcal/día) individual para el mantenimiento de metabolismo basal y por actividad física en dos épocas del año

Temporada	MB <sup>1</sup>	GEA <sup>2</sup>		P<0.05
		Factorial	Ritmo cardíaco	
Cosecha <sup>3</sup> (N=9)	1552.12 ± 143.56	1171.38 ± 422.01	1428.22 ± 832.48	0.28
Poscosecha <sup>4</sup> (N=11)	1469.91 ± 213.76	815.78 ± 234.73	1014.09 ± 443.28	0.29
P<0.05	0.32	0.04	0.20	

<sup>1</sup>MB: Gasto por metabolismo basal; <sup>2</sup>GEA: Gasto de energía por actividad; <sup>3</sup> octubre-enero; <sup>4</sup> febrero-mayo.

sistemáticamente subestimó el GEA en los individuos y a medida que se incrementó el gasto energético por actividad aumentó la subestimación.

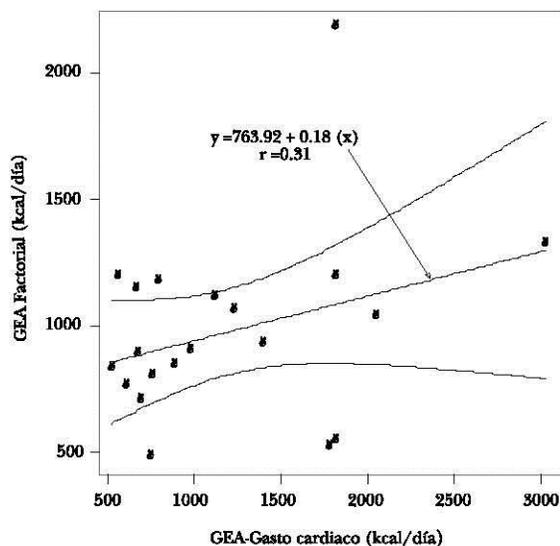


Figura 2. Relación en la estimación del gasto de energía por actividad (kcal/día) entre el método factorial y el ritmo cardiaco.

La figura 3 compara los dos métodos empleando el método estadístico desarrollado por Bland y Altman (1986). Para cada sujeto, la diferencia entre el método factorial y el ritmo cardiaco estimada como kcal/día método factorial – kcal/día ritmo cardiaco, fue graficada contra el promedio obtenido de los dos métodos. Todos los puntos, excepto seis, se distribuyeron dentro de la media y una desviación estándar ( $\text{media} \pm 1\text{D.E.} = -224.65 \pm 649.26$ ), sugiriendo que el método factorial puede dar estimaciones que sean de 424.62 kcal por arriba del obtenido con el ritmo cardiaco cuando hay poca actividad y hasta de 874.00 kcal por debajo de lo estimado con el método de ritmo cardiaco cuando hay mucha actividad. Estos resultados sugieren que las estimaciones que se hacen con estos dos métodos no pueden ser empleadas de manera “intercambiable” y que el método factorial subestima el gasto energético cuando hay mucha actividad y da valores mayores cuando hay poca.

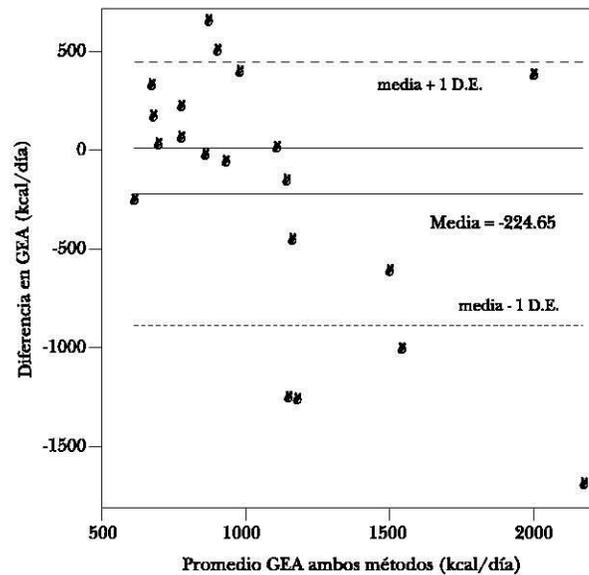


Figura 3. Comparación de las diferencias contra el promedio del gasto de energía estimado con el método factorial (F) y el ritmo cardiaco (RC).

## DISCUSIÓN

La medición del gasto energético es central en muchas investigaciones en biología humana y antropología biológica. En antropología los estudios energéticos han sido ampliamente utilizados para entender cómo las poblaciones que viven a nivel de subsistencia logran adaptarse a sus condiciones ambientales (Coughenour *et al.* 1985; Thomas *et al.* 1989; Panter-Brick 2003). No obstante su importancia en la salud y ecología humana, la cuantificación energética es difícil de obtener en poblaciones que viven en condiciones de libertad. Con estas condiciones la FAO (1985) ha recomendado el empleo del método factorial para estimar el gasto energético y más recientemente se propone emplear el método de ritmo cardiaco con punto de inflexión (flex heart rate) (Spurr *et al.* 1988). En la presente investigación, al comparar los métodos factorial y de ritmo cardiaco no se observó un efecto significativo en el gasto energético para el mantenimiento del metabolismo basal (MB), debido a que no existieron cambios importantes ( $P > 0.05$ ) en el peso, el IMC y las relaciones proporcionales de la composición corporal de

los individuos estudiados. El gasto por MB que se observó fue similar a lo que encontró Durnin (1990) en hombres y mujeres de 60 kg de peso que viven en condiciones de vida libre (1465 kcal/día). El peso corporal promedio de los individuos de este estudio se ubicó entre el percentil 15 y 25 para individuos de 25 a 29.9 años, mientras que el IMC se mantuvo dentro del promedio señalado para adultos del mismo grupo de edad (Frisancho 1999) y dentro del rango aceptable para individuos que viven en países en vías de desarrollo (Shetty y James 1994).

A pesar de que no se observó un cambio significativo en la estimación del GEA entre los métodos estudiados, el método factorial recomendado para estimar los requerimientos de energía y proteína en individuos y poblaciones (FAO 1985) tiende a subestimar el gasto energético cuando se compara con otros métodos de medición más precisos, como el método de ritmo cardiaco (Spurr *et al.* 1996; Spurr *et al.* 1997; Leonard 2003). Esto se pudo apreciar con la baja correlación encontrada en la estimación del gasto de energía determinado con el método de ritmo cardiaco en el presente estudio (figura 2) y con las diferencias encontradas con respecto al promedio obtenido del ritmo cardiaco con ambos métodos (figura 3). Estos señalamientos concuerdan con lo observado por Leonard *et al.* (1995) con agricultores de Ecuador y puede obedecer a la imposibilidad de cuantificar actividades que tienen un alto costo metabólico pero que son de corta duración (Durnin 1990); a una subestimación del costo energético de actividades específicas (Spurr *et al.* 1997; Ainsworth *et al.* 2000); debido a la termoregulación que puede incrementar el gasto energético para el mantenimiento del metabolismo basal (Katzmarzyk *et al.* 1996); a la digestión y asimilación de los alimentos (Roberts *et al.* 1991); a cambios en el patrón de conducta de los individuos por interferencia del método (Durnin 1990; Mueller 1999) y a variaciones individuales en las actividades ocupacionales y de descanso en diferentes épocas del año (Montoye 1971; Mueller 1999). El grado de subestimación del gasto energético con el método factorial, con respecto al obtenido con el método de ritmo cardiaco, se manifiesta más y de manera significativa conforme se intensifica la actividad física de los individuos y aumenta el gasto de energía (Leonard *et al.* 1997), como ocurrió durante el periodo de cosecha de este estudio. Hallazgos similares encontraron Leonard *et al.* (1995) durante los periodos de cosecha de papa entre agricultores, con respecto a otros

que destinaron más su tiempo a realizar actividades ligeras en el hogar y a socializar. Lo anterior enfatiza la importancia del grado de error asociado con el método factorial cuando se aplica a poblaciones rurales de países en vías de desarrollo, que por lo general mantienen niveles altos de actividad física y gasto de energía al día (Ferro-Luzzi *et al.* 1990; Leonard 2003), en comparación con poblaciones de países desarrollados que tienen bajos niveles de actividad física (Schulz y Schoeller 1994). En conclusión este estudio señala que las estimaciones de gasto de energía por actividad que se obtienen mediante el método factorial no pueden ser empleadas como equivalentes al gasto de energía estimado con el método de ritmo cardiaco. El método factorial tiende a subestimar el gasto energético (18.7 %) de los campesinos y a medida que se intensifica la actividad desempeñada en el ciclo agrícola la subestimación alcanza niveles significativos.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a las familias de Calakmul, Campeche, su colaboración en este estudio. También expresan su gratitud a Dolores O. Molina, Luvia Padilla, Mirna I. Vallejo, Gabriela Rodríguez C. y Adela Velasco por su participación en el trabajo de campo que fue financiado por el proyecto *Aprovechamiento de alimentos regionales con elevado valor biológico en la dieta de las familias de Calakmul, Campeche*, CONACyT-SISIERRA clave: 20000217.

### REFERENCIAS

- AINSWORTH, B.E., W.L. HASKELL, M.C. WHITT, M.L. IRWIN, A.M. SWARTZ, S.J. STRATH, W.L. O'BRIEN, D.R. BASSETT, K.H. SCHMITZ, P.O. EMPLAINCOURT, D.R. JACOBS Y A.S. LEON  
2000 Compendium of Physical Activities: an update of activity codes and MET intensities, *medicine and science in sports and exercise* 32: Suppl, S498-S516.
- ALAYÓN, A Y F.D. GURRI  
2005 Impacto de la escasez calórica estacional en la composición corporal y el gasto energético de adolescentes campesinos de Calakmul, Campeche, México, *Estudios de antropología biológica*, vol. XII: 335-356.



# Astronomía



# Biología

## ¿CÓMO CONTAR ANIMALES EN SU MEDIO SILVESTRE?

### LA UTILIDAD DE LAS MATEMÁTICAS

**Dr. Miguel Angel Martínez Morales**  
**ECOSUR, Campeche**



## BASES CONCEPTUALES

# ESTIMACIÓN DE LA ABUNDANCIA

## ¿Por qué estimar la abundancia de la fauna silvestre?

- Para conocer el tamaño de una población
- Para conocer las tendencias de una población a través del tiempo
- Para comparar el tamaño de una población con otra
- Para correlacionar cambios espacio-temporales en el tamaño de una población en función de variables de interés

# Estimadores de abundancia

- **Estimaciones absolutas:**
  - Censo del número de individuos en una población
  - Cálculo de una densidad
    - Ejemplo: individuos / ha
  - Métodos:
    - Teoría del muestreo de distancias
    - Captura-recaptura
- **Estimaciones relativas:**
  - Número de individuos por alguna unidad de esfuerzo de muestreo
    - Ejemplo: individuos / kilómetro recorrido



## EJEMPLO

**ESTIMEMOS LA ABUNDANCIA DE UNA POBLACIÓN DE PAVA COJOLITA (*Penelope purpurascens*)**



En la mayoría de las especies de fauna silvestre es difícil contar todos los individuos de una población.

Por lo tanto, la abundancia de individuos en una población la podemos conocer calculando su densidad en una determinada área.

Recordemos que la densidad es el número de individuos por unidad de área.





Pero...

muchos de los individuos pueden no ser detectados.

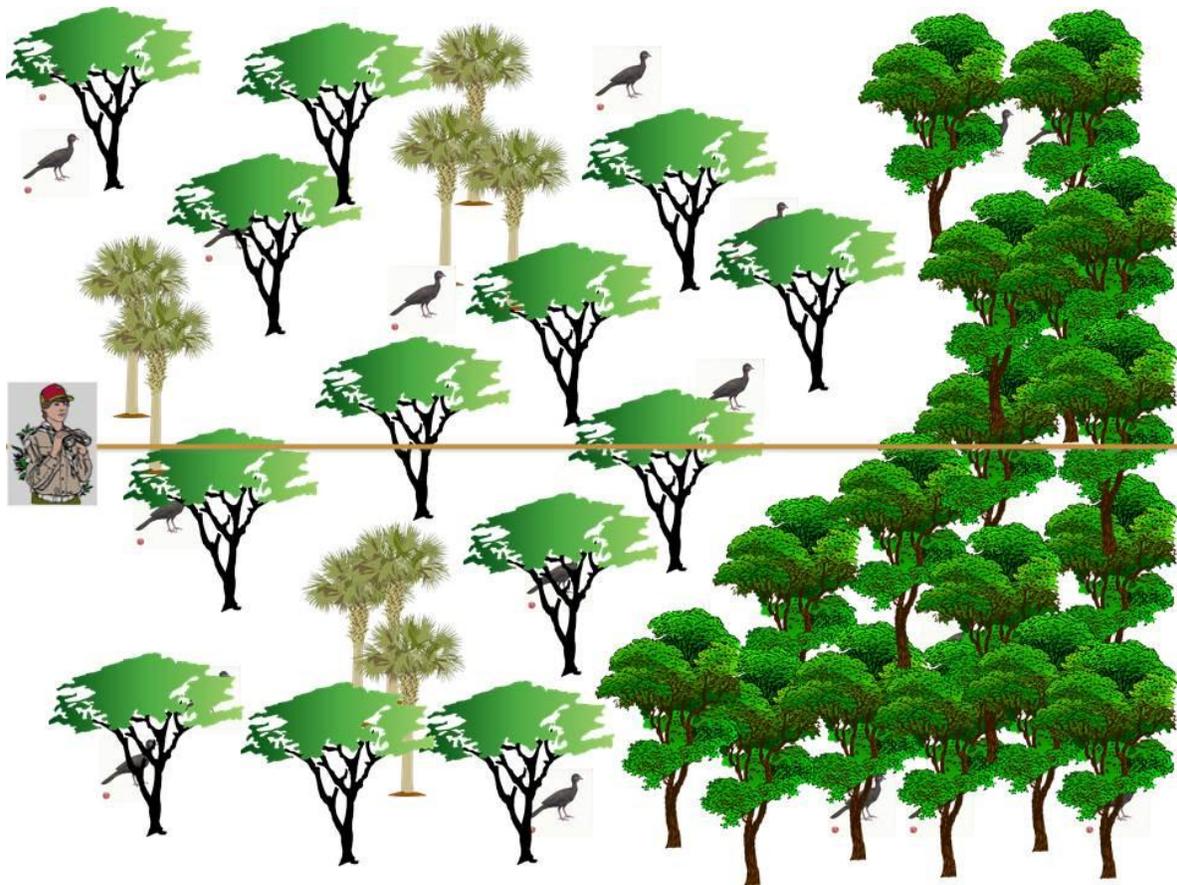




y sin embargo,...

es importante hacer una estimación robusta del tamaño poblacional de las pavas.

Para esto, tenemos que recorrer el bosque a través de un sendero y contar todas las pavas que encontremos.





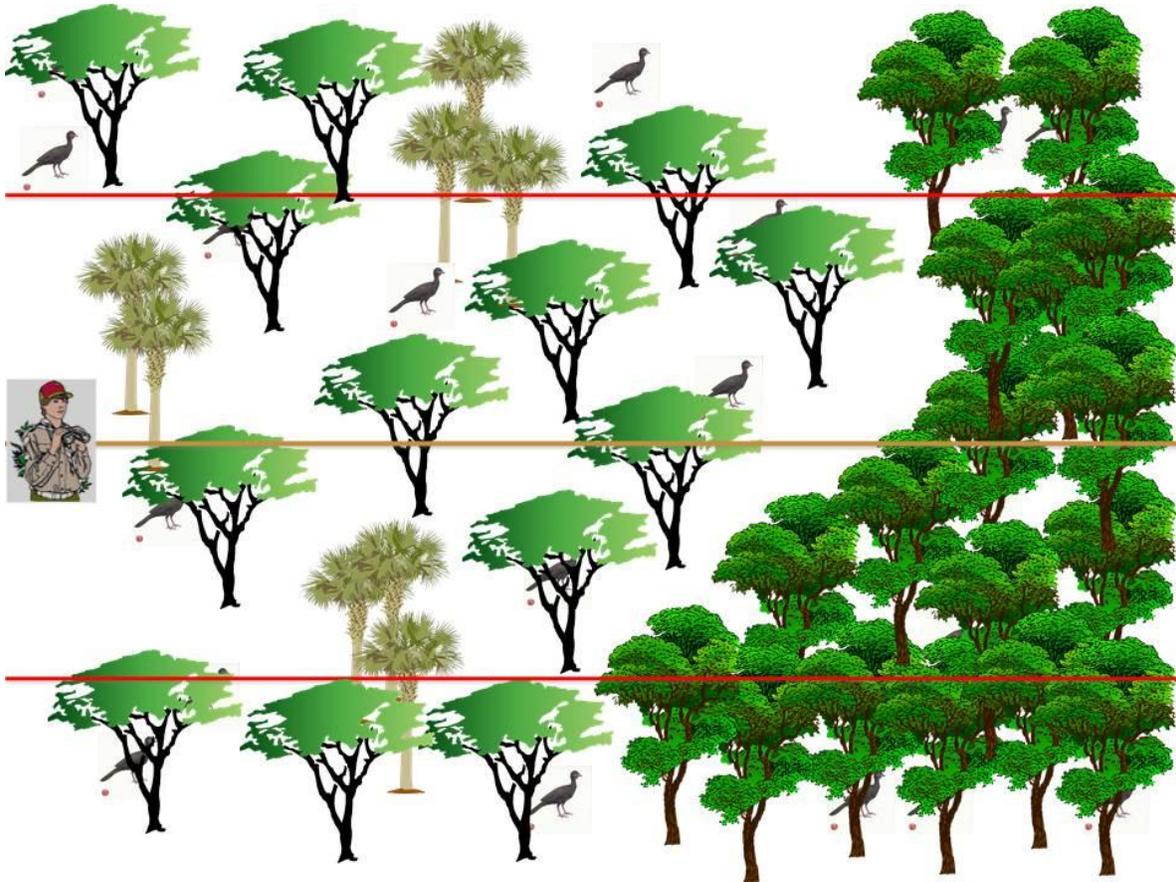
Para poder estimar la densidad de pavas a partir de los individuos que detectemos en nuestra área de estudio, necesitamos calcular cuál es nuestra área de muestreo:

si medimos el sendero que recorreremos, podemos conocer su longitud; pero,...

también necesitamos calcular el ancho de nuestra área de muestreo.

### **¿Cómo definir el ancho de nuestra área de muestreo?**

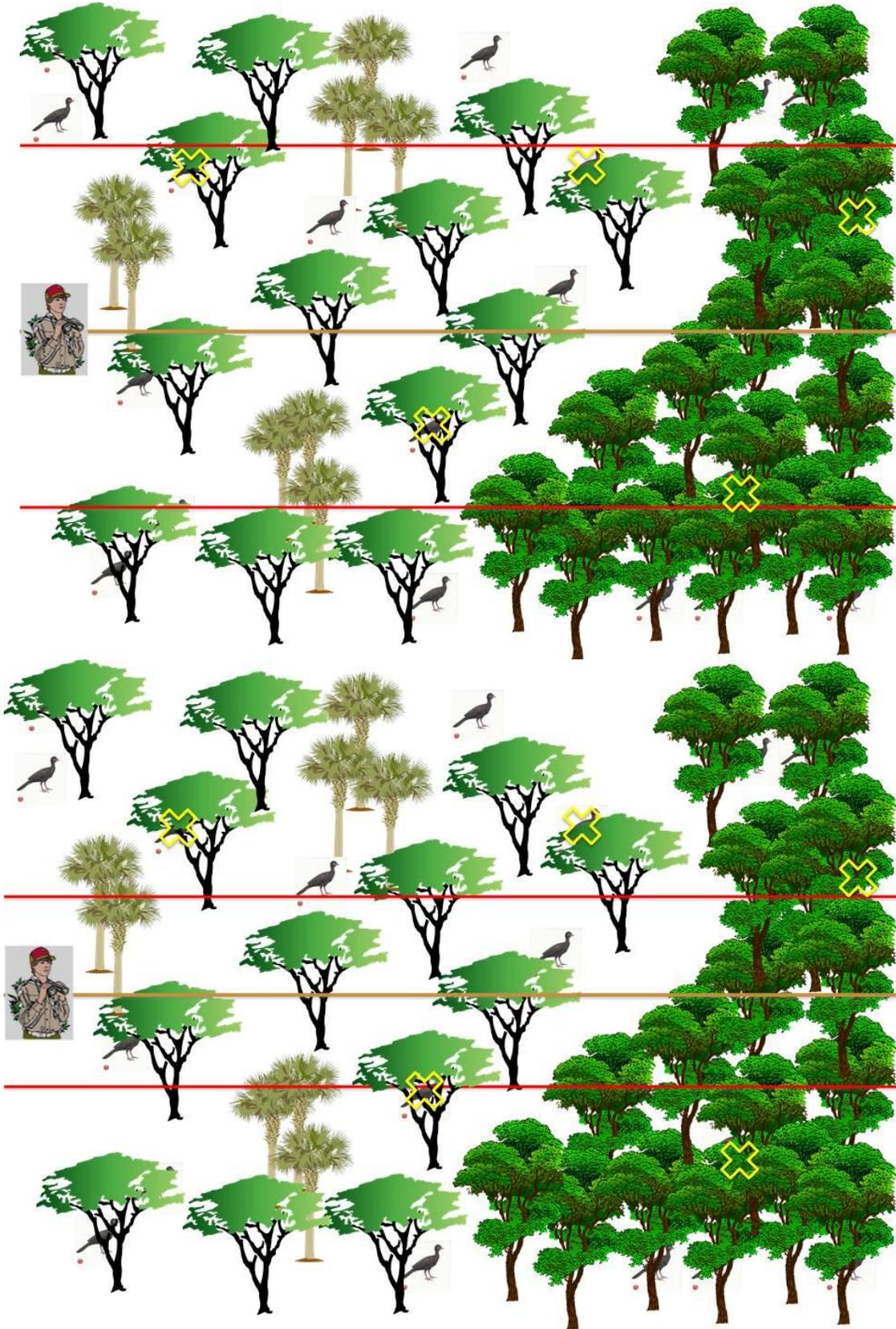
Por ejemplo, podríamos decir que el ancho de nuestra área de muestreo es la distancia hasta donde llega nuestra visión para detectar a las pavas.



Pero,...

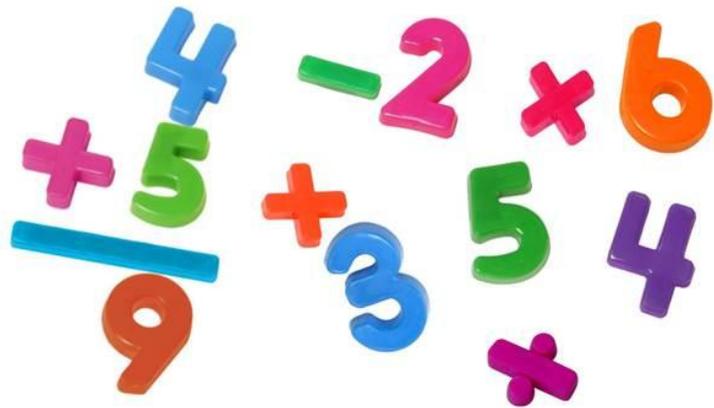
como algunos individuos pueden no ser detectados, lo más probable es que desconozcamos nuestra verdadera área de muestreo.

Esto generaría una subestimación o una sobreestimación de la densidad real de la población de pavas.



Por lo tanto,...

para poder estimar la densidad de la población de pava cojolita en nuestra área de estudio, antes tenemos que estimar nuestra área efectiva de muestreo.



AQUÍ ES DONDE VIENEN EN NUESTRO AUXILIO LAS MATEMÁTICAS  
**EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD**



## Matemáticas

$$D = \frac{n}{a} = \frac{n}{2wL}$$

Donde:

$D$  = densidad

$n$  = número de individuos

$a$  = área

$w$  = ancho de banda del sendero

$L$  = largo del sendero

## Matemáticas

Sin embargo, como ya vimos, sólo una proporción de los objetos de interés en el área  $a$  es detectada.

Entonces:

$$D = \frac{n}{2wLP_a}$$

Donde:

$P_a$  = proporción de objetos detectados en el área  $a$



## Matemáticas

La probabilidad de detectar un objeto en el sendero está dada por:

$$P_a = \frac{\int_0^w g(x)dx}{w}$$

Resumiendo:

$$D = \frac{n}{2wLP_a} = \frac{n}{2wL \frac{\int_0^w g(x)dx}{w}} = \frac{n}{2L \int_0^w g(x)dx}$$

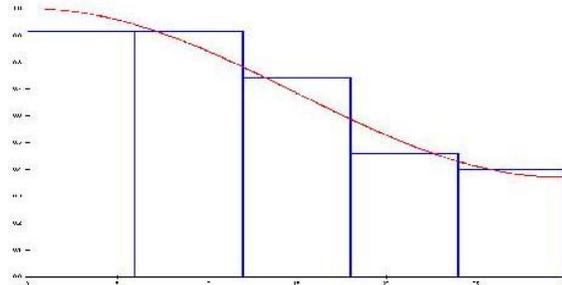
## Matemáticas

Por lo tanto, para conocer la densidad de la población de pava cojolita en nuestra área de estudio, debemos calcular la integral:

$$\int_0^w g(x)dx$$

# Matemáticas

$$\int_0^w g(x) dx$$



Esta integral se interpreta como el área bajo la curva de la probabilidad de detección en el intervalo de distancias de 0 a  $w$ . A partir de esto, podemos estimar nuestra área de muestreo y en consecuencia, la densidad de la pava.



APLICACIÓN DE LAS MATEMÁTICAS

## LA TEORÍA DEL MUESTREO DE DISTANCIAS

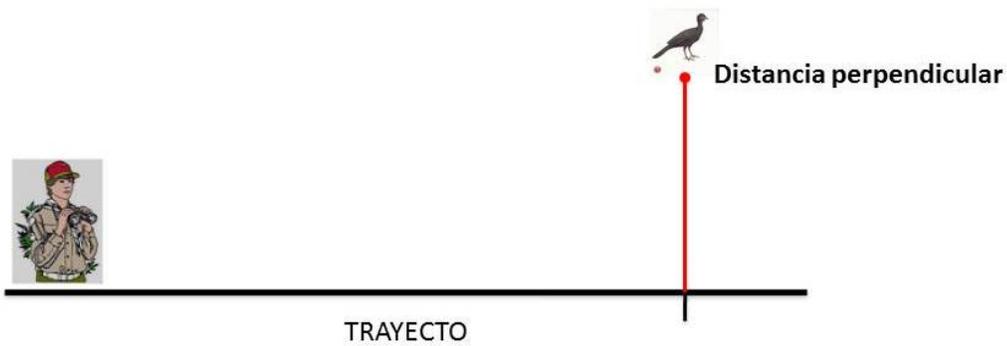
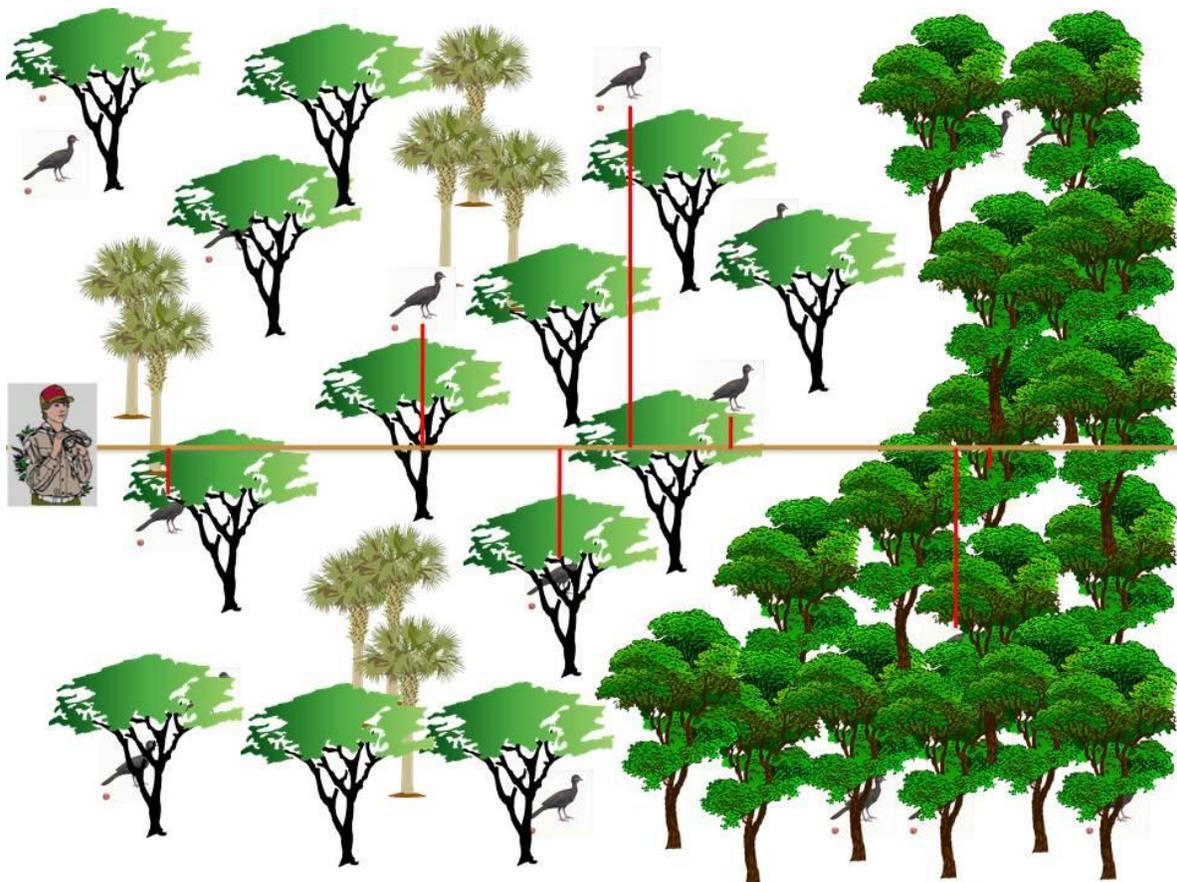


## Teoría del Muestreo de Distancias

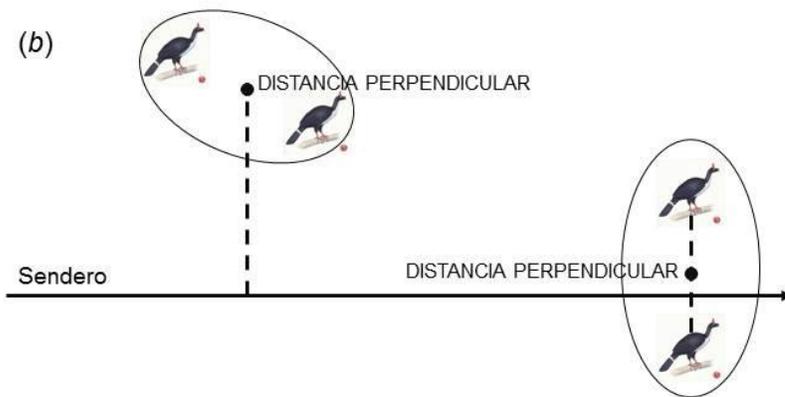
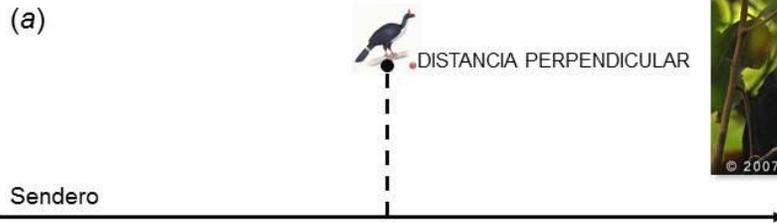
- Es un conjunto de métodos en los que se registran las distancias a objetos de interés desde trayectos o puntos y, a partir de esto, se estima su densidad mediante modelos matemáticos.
- **Objetos:**
  - Individuos
  - Conjuntos de individuos
  - Señales de presencia (cantos, nidos, excretas, etc.)
- **Métodos:**
  - Trayectos en línea
  - Trayectos de puntos
  - Redes de trampas

## Teoría del Muestreo de Distancias

- **Ventaja:**
  - No es necesario detectar a todos los objetos de interés
- **Supuestos:**
  - Los objetos sobre la línea del trayecto siempre son detectados
  - Los objetos son detectados en su posición original
  - Las distancias son medidas con precisión
- **Otros supuestos:**
  - Los objetos son identificados correctamente
  - La ubicación de los objetos es independiente de la posición de los trayectos
  - Las detecciones son eventos independientes

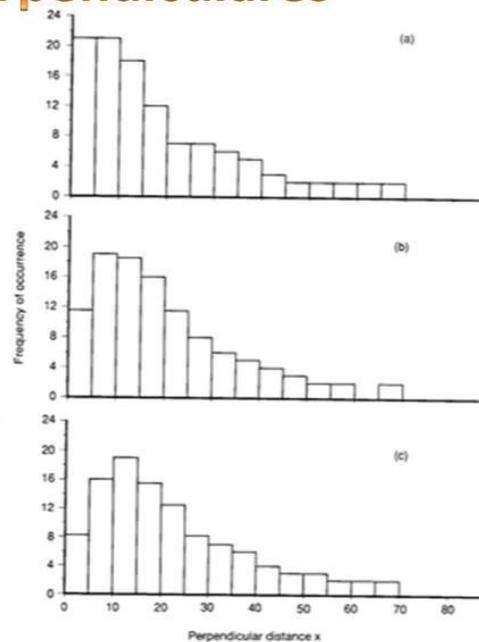


## Un breviario cultural

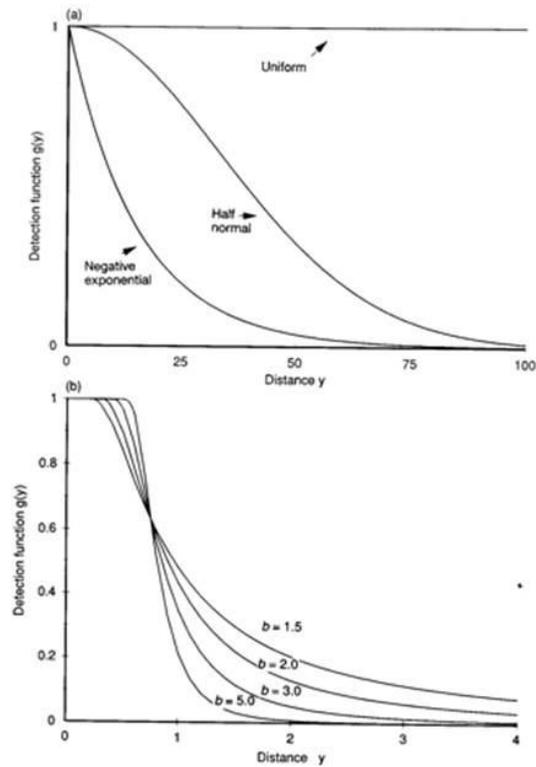
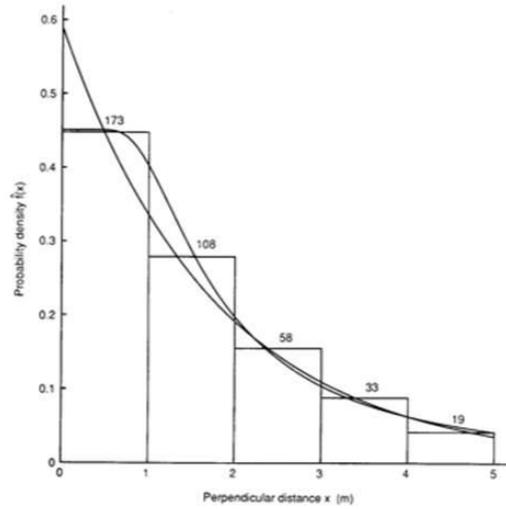


## Distribución de frecuencias de las distancias perpendiculares

- Distribución buena
- Distribución mala por problemas de muestreo



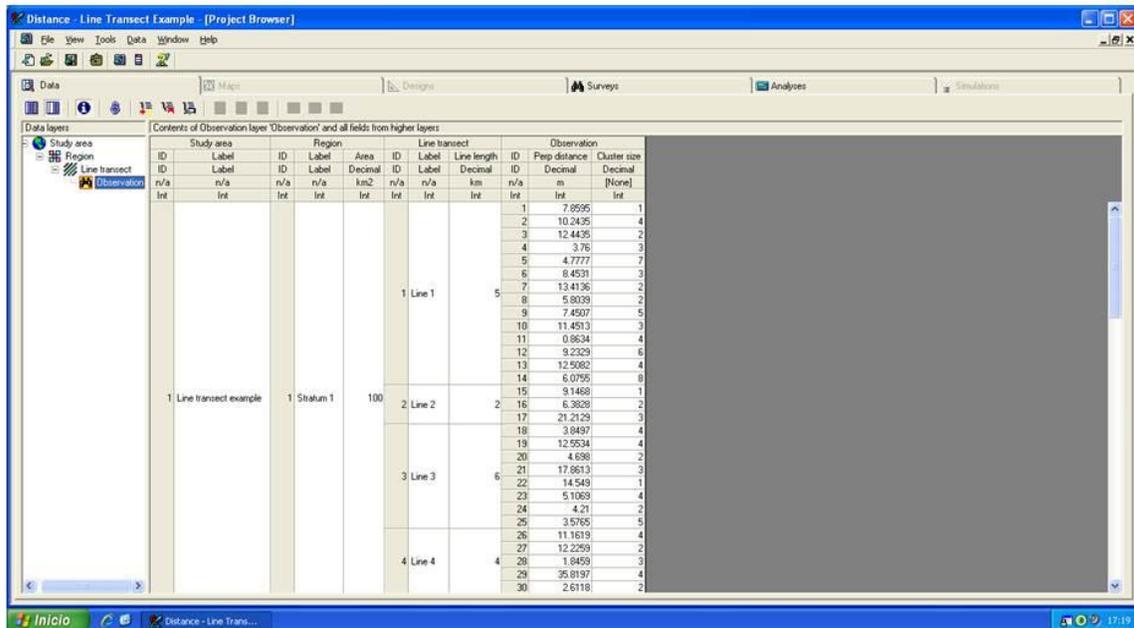
# Ejemplos de los modelos empleados para analizar los datos del muestreo de distancias



## ANÁLISIS DE DATOS

# PROGRAMA DISTANCE

## Interface



The screenshot displays the 'Distance - Line Transect Example - [Project Browser]' window. The main data table is titled 'Contents of Observation layer "Observation" and all fields from higher layers'. The table has the following columns: Study area (ID, Label), Region (ID, Label, Area, Decimal), Line transect (ID, Label, Line length, km, n/a, Decimal, Int), and Observation (ID, Prep distance, Cluster size, Decimal, [None], Int). The data rows are as follows:

Study area		Region			Line transect				Observation		
ID	Label	ID	Label	Area	ID	Label	Line length	ID	Prep distance	Cluster size	
n/a	n/a	n/a	n/a	km2	n/a	n/a	km	n/a	m	[None]	
Int	Int	Int	Int	Int	Int	Int	Int	Int	Int	Int	
								1	7.8595	1	
								2	10.2435	4	
								3	12.4435	2	
								4	3.76	3	
								5	4.7777	7	
								6	8.4531	3	
						1	Line 1	7	13.4136	2	
								8	5.8039	2	
								9	7.4507	5	
								10	11.4513	3	
								11	0.6634	4	
								12	9.2329	6	
								13	17.5662	4	
								14	6.0755	8	
								15	9.1468	1	
1	Line transect example	1	Station 1	100				16	6.3828	2	
								17	21.2129	3	
								18	3.8497	4	
								19	12.9534	4	
								20	4.636	2	
								21	17.6613	3	
								22	14.549	1	
								23	5.1069	4	
								24	4.21	2	
								25	3.5765	5	
								26	11.1619	4	
								27	12.2259	2	
								28	1.8459	3	
								29	35.8197	4	
								30	2.6118	2	

## ¿Cien o mil pies?

Alejandro Morón Ríos

Departamento de Ecología y Sistemática Terrestre

ECOSUR- Unidad Campeche

Cuando nos hablan de la diversidad o riqueza de las especies del mundo animal, casi siempre pensamos o vemos imágenes de la gran variedad de peces multicolores de un arrecife de coral, o de las muy distintas formas de vida animal que habitan en este ambiente, como las estrellas de mar o los corales. Si el ejemplo ocurre en tierra firme, las aves de la selva o del bosque y sus muy variados colores, tamaños y curiosos hábitos aparecen en la pantalla o en nuestras mentes. Sin embargo, cuando hablamos o pensamos en la diversidad de la vida animal, raramente pensamos que ésta también está presente bajo nuestros pies, si, dentro del suelo y entre las hojas que conforman la capa de hojarasca de un bosque o una selva. En estos ambientes particulares existen cientos de miles de pequeños, y no tan pequeños, animales

Ciempíes o milpiés es el nombre común que se le da a algunos de estos animales, se trata de un numeroso grupo de organismos que tienen forma alargada, caminan o corren muy rápidamente con muchas patas diminutas y se encuentran bajo piedras, hojas y ocasionalmente en algún rincón oscuro y húmedo de nuestra casa o patio. Por pura curiosidad uno se puede hacer la pregunta del título, ¿realmente tienen cien pies o mil pies?. Para dar una respuesta hay que decir que los llamados ciempíes pueden tener menos de 20 o más de 300 patas, pero curiosamente siempre tienen un número non de pares de patas (esto es, 13 o 15



pares, 26 o 30 patas). Estos animales tienen el cuerpo dividido en lo que técnicamente se llaman segmentos y cada uno de ellos lleva un par de patas. Otro rasgo característico de este grupo de animales es la presencia de un par de “uñas” venenosas, técnicamente llamadas forcípulas, que se localizan en la parte baja de la cabeza y son utilizadas para la captura y consumo de sus presas.

Por otra parte, los milpiés tampoco llegan a tener un número de patas tan grande, usualmente tienen entre 36 y 400 patas. Al igual que los ciempiés también tienen el cuerpo alargado y dividido en segmentos, en cada uno de los cuales existen dos pares de patas, a excepción del primer segmento, que no tiene ninguna. Estos organismos caminan mucho más lentamente que sus parientes ciempiés y la mayoría se alimenta con las hojas caídas de los árboles y de otros restos vegetales descompuestos, aunque algunas especies pueden ser carnívoras o alimentarse de restos de animales descompuestos. Habitan prácticamente en todos los ambientes, con excepción de los hielos perpetuos, pero en las regiones templadas y tropicales es en donde se encuentra la mayor cantidad de especies, que se estima en más de 12,000. En México se encuentran desde el nivel del mar hasta los pastizales de montaña y hasta hace algunos años se habían registrado más de 400 especies.

El color de estos organismos usualmente es pardo o de tonalidades oscuras, pero muchas especies tienen colores muy llamativos, pudiendo tener la orilla de los segmentos de color naranja o rojo o color crema o bien el cuerpo completo de una tonalidad entre verde y amarilla, en realidad su coloración puede ser variada.

Su tamaño puede variar entre los 2 milímetros y los 28 centímetros.

Estos organismos pueden secretar sustancias irritantes y malolientes como un mecanismo de defensa cuando se sienten amenazados. Cuando los milpiés son molestados, su primera reacción puede ser la de enrollarse y formar una unidad compacta, que en algunas especies puede llegar a ser muy parecido al comportamiento de una cochinilla. Los milpiés no son agresivos, ni generan ningún daño, por el contrario, la mayor parte de ellos se encarga de procesar la



materia vegetal muerta y convertirla en parte del suelo, contribuyendo a su fertilidad.

En el bosque de la Reserva Biológica Cerro Huitepec, San Cristóbal de las Casas, Chiapas hemos estudiado los patrones de consumo de una de las especies que ahí habita, cuyo nombre específico desconocemos, pero que sabemos pertenece al género *Messicobolus* (Figura 1). Esta especie habita en la gruesa capa de hojarasca del maravilloso bosque del Cerro Huitepec, prefiere estar a unos 5 cm de profundidad dentro de la capa de hojas. En este sitio se encuentran las hojas en un estado de descomposición adecuado para que esta especie las pueda consumir. Este consumidor de hojarasca no es selectivo, esto es, consume las hojas de cualquiera de las especies de árboles que crecen en este bosque, solo requiere que se encuentren levemente descompuestas y ¡la mesa está puesta!.

Para tener una idea de la importancia que estos organismos pueden tener para el ecosistema, hemos probado experimentalmente que tanto cambia o si cambia la descomposición de la hojarasca cuando esta especie no está presente. La respuesta encontrada es impactante, el consumo de hojarasca por el milpiés casi duplica la cantidad de hojarasca que se descompone, en comparación a cuando no está presente.

Este simple experimento nos da una idea de la importancia que tienen estos degradadores para el funcionamiento del ecosistema, las otras especies de milpiés del Cerro Huitepec probablemente contribuyan aún más a los procesos de degradación de la materia y reincorporación de nutrientes. La diversidad de este poco conocido grupo de seres vivos es impresionante, como lo es también su contribución a los procesos de degradación, independientemente de que tengan mil o menos de mil patas.



## LECTURAS

- M. E. Favila, M. Ortiz Dominguez, I. Chamorro-Florescano y V. Cortes-Gallardo. 2012. Comunicación Química y Comportamiento Reproductor de los Escarabajos Rodadores de Estiércol (Scarabaeinae: Scarabaeini): Aspectos Ecológicos y Evolutivos, y sus Posibles Aplicaciones, 141-164. En: J. C. Rojas Leon y E. A. Malo Rivera (eds.). Temas Selectos en Ecología Química de Insectos. El Colegio de la Frontera Sur. México. 446 p.
- E. Galante y M. Angeles Marcos-García. 1997. Detritívoros, Coprófagos y Necrófagos. Bol S.E.A. 20:57-64.
- Gómez-Herrera, R. 2004. Vida de Insecto. ¿Cómo ves? 72:10-14.
- F. Guidobaldi y P. Guerenstein. 2012. El Sistema Olfativo de los Insectos, 46-71. En: J. C. Rojas y E. A. Malo Rivera (eds.). Temas Selectos en Ecología Química de Insectos. El Colegio de la Frontera Sur. México. 446 p.
- M.A. Morón. 2004. Escarabajos, 200 millones de años de evolución. Sociedad Entomológica Aragonesa-Instituto de Ecología A.C. p 68-84.



A. Morón-Ríos.2006. Fauna invisible, los escarabajos degradadores. Ecofronteras 29:2-4.

A. Morón-Ríos. 2010. ¿Cuántos pies cien o mil?. Ecofronteras 40:14-15.

## LUNES

HORA 1.- ECOSISTEMAS - ESQUEMA DEL CICLO DE DEGRADACION.

HORA 2.-LOS DEGRADADORES (¿QUIENES LO HACEN Y CUANTO HACEN?)

-----

## MARTES

HORA 1.- ¿QUE PASARIA SI NO ESTUVIERAN? - IMPORTANCIA;

HORA 2.-¿PORQUE HUELE A PODRIDO? .HECHURA TRAMPAS

-----

## MIERCOLES

HORA 1.- -COLOCAR TRAMPAS

HORA 2.- COMO SABEN DONDE HAY RESIDUOS?  
- ORGANOS SENSORIALES; EL CASO DE LOS INSECTOS;

-----

## JUEVES

HORA 1.- RETIRAR TRAMPAS

HORA 2.- REVISAR COLECTA

-----

## VIERNES

HORA 1.- FUNCION I - LA REPRODUCCION DEL DEGRADADOR  
FUNCION II - EL EFECTO EN EL SUELO.

HORA 2.-¿DONDE HAY MAS ESCARABAJOS DEGRADADORES?

---

## Detritívoros, Coprófagos y Necrófagos

Eduardo GALANTE<sup>1</sup> y M. Ángeles MARCOS-GARCÍA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Ciencias Ambientales y Recursos Naturales; Universidad de Alicante. Alicante, España.

**Resumen:** Junto a los organismos productores (plantas verdes) y consumidores (fitófagos, predadores), los saprófagos forman parte de la biocenosis del ecosistema jugando un papel fundamental en el aprovechamiento de la energía no utilizada por los dos primeros grupos, de tal forma que posibilitan su reciclado y, con ello, el adecuado funcionamiento del ciclo de energía del que depende el propio ecosistema. En este artículo se analiza el proceso de descomposición y los organismos que intervienen en la misma con especial atención a los insectos, distinguiendo entre los procesos de descomposición de restos vegetales, excrementos y cadáveres.

### Introducción

En cualquier medio natural o seminatural existen básicamente tres tipos de organismos: productores, consumidores y descomponedores, y de su adecuada interacción y actuación dependerá el buen funcionamiento del ecosistema. Los llamados productores están constituidos por organismos capaces de captar energía y sintetizar materia orgánica a partir de compuestos inorgánicos. Si bien existen bacterias quimiosintetizadoras, la mayor parte del conjunto de organismos productores está constituida por organismos fotosintetizadores como es el caso de los vegetales. Las plantas verdes utilizan la energía solar y fijan CO<sub>2</sub>, produciendo compuestos orgánicos ricos en energía. Una parte de esta energía acumulada se perderá en el ecosistema a través de los procesos respiratorios y demás funciones vitales, mientras que otra será utilizada por otros organismos de la comunidad como son los consumidores y descomponedores.

Los consumidores son organismos heterótrofos que obtienen el alimento a partir de los productores o bien a partir de otros consumidores, pudiendo encontrar diversos niveles de complejidad dentro de un ecosistema: consumidores primarios que se alimentan directamente de los productores, consumidores secundarios que se alimentan a partir de consumidores primarios, consumidores terciarios, etc.

Finalmente, tenemos el grupo de descomponedores que son los llamados organismos saprófagos que se alimentan de materia muerta o de desechos procedentes de productores y consumidores. De este modo la materia orgánica sintetizada por los productores pasa a otros niveles de organismos a través de las cadenas tróficas, si bien la utilización de biomasa en este proceso es tan sólo una parte, dado que gran parte de la energía será utilizada en los procesos respiratorios a todos los niveles.

Un hecho importante a tener en cuenta en estos procesos tróficos es que los organismos descomponedores actúan a todos los niveles y de este modo, toda la energía no utilizada por los consumidores y productores, así como la acumulada en los productos de desecho como las heces, será utilizada por los descomponedores que la reciclarán en el ecosistema. Todo este proceso constituye el ciclo de energía

del que depende el buen funcionamiento y subsistencia de los ecosistemas (Fig. 1).

Se ha calculado que en un ecosistema típico, aproximadamente el 95% de la materia orgánica sintetizada por las plantas verdes queda sin ser consumida, pasando al nivel de descomponedores en forma de materia vegetal del suelo, junto con los cadáveres y los productos procedentes de la excreción de todos los niveles.

El proceso de descomposición es uno de los acontecimientos más importantes en el funcionamiento de los ecosistemas. De acuerdo con Putman (1983) la descomposición podemos definirla como *el proceso mediante el cual un organismo o derivado del mismo se llega a fraccionar en las partes o elementos que lo componen, encontrando que, al final del mismo, el resto animal o vegetal que inicialmente observábamos se habrá desintegrado gradualmente hasta que sus estructuras ya no son reconocibles y sus complejas moléculas orgánicas se habrán fragmentado*. Es éste un proceso complejo en el que interactúan tanto agentes biológicos como factores abióticos del medio. En resumen podemos afirmar que la descomposición comporta la liberación de energía y la mineralización de los nutrientes químicos convirtiendo los elementos orgánicos en inorgánicos (Begon *et al.*, 1988).

En el proceso de descomposición diferenciamos dos fases, en ocasiones difícilmente distinguibles, y que podemos denominar de destrucción y de degradación de la materia orgánica. El proceso de destrucción se refiere a la fase inicial de la descomposición y se caracteriza por producirse el fraccionamiento del resto orgánico mediante medios mecánicos de modo que al final de este proceso se obtienen partículas de pequeño tamaño. Durante esta fase inicial juegan un importante papel tanto los factores abióticos (lluvia, viento, temperatura, etc.) como los bióticos (animales descomponedores). En una segunda fase, sin solución de continuidad con la primera, se producirá la degradación de la materia orgánica, produciéndose la desintegración de las pequeñas partículas en moléculas dando como productos finales CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y sales minerales.

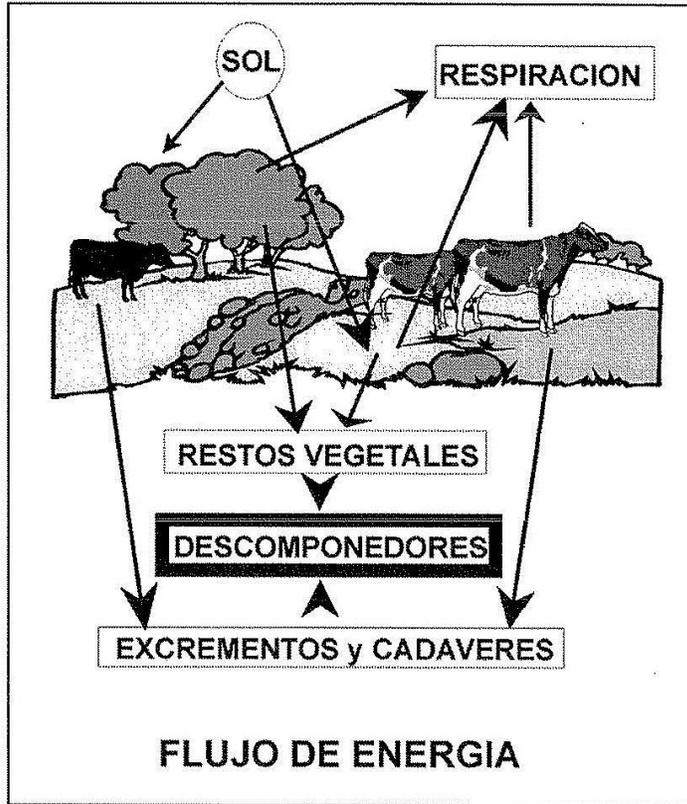


Fig. 1.- Ciclo de energía en un ecosistema.

La destrucción es también una fase de dispersión de la materia orgánica, ya que las pequeñas partículas resultantes de dicho proceso pueden ser llevadas mediante diversos mecanismos fuera de la fuente inicial (arrastrés por el viento y el agua o acción directa de animales como el enterramiento, ingestión, traslado, etc.). En este sentido debemos considerar, que si bien el ciclo de nutrientes finaliza en el nivel de descomponedores, generalmente parte de la materia orgánica muerta acumulada en el medio constituye una fuente de alimento para numerosas especies animales, por lo que el ciclo se prolongará mediante la incorporación de parte de esa materia a los tejidos del animal saprófago, si bien finalmente acabará formando parte de nuevos cadáveres y heces.

Los grupos de invertebrados que intervienen en los procesos de descomposición de restos orgánicos de origen animal o vegetal pertenecen a grupos taxonómicos muy variados. En su mayoría son grupos de animales ligados al medio edáfico y que poseen tamaños muy dispares. En general se suelen hacer clasificaciones basados en su talla y de este modo hablamos de microfauna cuando tienen menos de 100  $\mu\text{m}$  como los rotíferos y algunos nematodos; mesofauna cuando su tamaño oscila entre 100  $\mu\text{m}$  y 200 mm como son los ácaros y colémbolos y macrofauna cuando superan esta talla pudiendo alcanzar una elevada biomasa como ocurre con algunos coleópteros (ej., Scarabaeidae, Geotrupidae o Silyphidae), dípteros (ej., fases larvianas de Muscidae, Sarcophagidae o Calliphoridae), miriápodos (Diplopoda), lumbrícidos, etc. Todos estos grupos son los responsables de la trituración y fragmentación de los restos vegetales o animales, interviniendo en lo que hemos denominado fase de

destrucción. Son grupos de animales que contribuyen en gran medida a la redistribución de los restos y formación de la capa superficial del suelo. Los grupos de animales descomponedores se encuentran en todos los hábitats terrestres generalmente en un número muy elevado, pudiendo contabilizarse en tan sólo un metro cuadrado, varios millones de individuos pertenecientes a cientos de especies diferentes (Anderson, 1978; Begon *et al.*, 1988). Dentro del grupo de animales descomponedores, y en especial en la región mediterránea, los artrópodos son el componente mayoritario y el que juega un papel más importante. Gracias a la acción de los artrópodos durante la fase inicial de fragmentación, los restos orgánicos pueden ser degradados. Estos restos, en el supuesto de que no se llegaran a descomponer, podrían acumularse en el suelo en forma de materia orgánica no utilizada por el ecosistema. Esto nos puede dar una idea de la importancia de los organismos descomponedores y del papel que juegan en los ecosistemas, ya que una comunidad adecuada de estos organismos evita que se produzca la aparición de potenciales cuellos de botella en el reciclado de materia orgánica. En este sentido podemos afirmar que en un ecosistema terrestre en el que no exista una entomofauna capaz de actuar eficazmente sobre los restos

vegetales y animales, acabarán produciéndose graves alteraciones que conducirán inevitablemente a una alteración del mismo y pérdida de biodiversidad.

### Descomponedores de restos vegetales

Los artrópodos juegan un importante papel en los procesos de degradación de los restos de origen vegetal, y sin embargo la mayoría de ellos carecen de la capacidad de desarrollar procesos enzimáticos capaces de degradar los componentes fundamentales de toda planta: la lignina y la celulosa. Los procesos catabólicos de la celulosa requieren la existencia de enzimas del tipo de la celulasa, de la cual carecen la mayor parte de los animales. Los artrópodos han solucionado esta carencia mediante relaciones mutualistas con microorganismos, bien de forma directa al tener bacterias o protozoos simbióticos de forma permanente en el tracto intestinal, o bien de forma indirecta al utilizar las celulasas producidas por la microflora que ingieren a la vez que los restos vegetales (Begon *et al.*, 1988). Quizá los grupos más conocidos son las termitas (Isoptera) y las cucarachas (Dyctioptera: Blattodea). Si bien las termitas poseen bacterias simbióticas, el principal grupo de microorganismos son los protozoos, llegando a constituir el 60% del peso corporal, y en su ausencia las termitas no pueden asimilar la madera.

En los ecosistemas mediterráneos cobran especial importancia como descomponedores los miriápodos (Diplopoda). Este grupo de artrópodos se encuentra especializado en consumir materia orgánica en

descomposición o bien organismos saprófagos. Viven en el suelo, se concentran en ocasiones en poblaciones con un número elevado de individuos (Bertrand & Lumaret 1992; Striganova, 1975) y su actividad se desarrolla durante gran parte del año, siendo en ocasiones el principal grupo de artrópodos descomponedores (Bertrand *et al.*, 1987).

Otro grupo importante en la degradación de los restos de origen vegetal son las denominadas cochinillas de la humedad (Crustacea: Isopoda) que poseen asimismo microorganismos simbióticos en su intestino que les permite desarrollar una importante actividad celulolítica.

No todos los artrópodos digieren la celulosa mediante bacterias simbióticas, sino que aprovechan la madera predigerida por los microorganismos. Es este el proceso que llevan a cabo algunas especies de colémbolos como *Tomocerus* (Collembola), coleópteros escolítidos (Coleoptera: Scolityidae), hormigas del género *Atta* (Hymenoptera: Formicidae) y termitas (Isoptera) que cultivan hongos.

Todos los restos vegetales no presentan siempre la misma dificultad en cuanto a su digestión. Los frutos son también ampliamente explotados por los artrópodos gracias a la existencia de levaduras que producen su descomposición y que permiten a numerosos artrópodos como muchos dípteros (*Drosophila* es probablemente el ejemplo más conocido) o himenópteros (por ejemplo Vespidae) alimentarse a partir del subproducto resultante de la fermentación. No obstante, un hecho que debemos tener en cuenta es que la relación entre microorganismos (bacterias, hongos y protozoos) y restos vegetales es muy estrecha, y por tanto, en la mayor parte de los casos es inevitable que los artrópodos ingieran ambos recursos simultáneamente, siendo en ocasiones la biomasa ingerida de microorganismos más importante que la de restos vegetales.

### La entomofauna de excrementos y cadáveres

En los estudios de ecosistemas, generalmente se ha prestado una atención preferente a los procesos de descomposición de los restos de origen vegetal, dada la importancia que el proceso de humificación tiene en la configuración de las capas del suelo y en el aporte de nutrientes al mismo. Sin embargo el proceso de descomposición de los productos de origen animal (cadáveres y excrementos) es menos conocido, y todavía ha sido poco estudiado en muchos ecosistemas.

Para entender los procesos de degradación y reciclaje de cadáveres y excrementos, debemos de tener presente que son medios abundantes en materia orgánica y que participan de unas condiciones microclimáticas especiales. Las heces y cadáveres representan no sólo una rica fuente de energía, sino un hábitat muy especializado que es explotado por una entomofauna también muy especializada en la mayoría de los casos. Esta fauna obtiene alimento en estos acúmulos orgánicos, bien directamente como en el caso de los coprófagos y necrófagos, bien indirectamente como en el caso de los depredadores.

Si generalmente en un ecosistema es difícil establecer los límites de la comunidad de artrópodos, cuando estudiamos un cadáver o un excremento nos encontramos con una unidad perfectamente definida a la vez que limitada en el espacio y tiempo. Los cadáveres y excrementos presentan una serie de características que influyen en la composición y dinámica del conjunto de especies que los utilizan. Estos medios constituyen por tanto verdaderos microhábitats dentro del ecosistema en el que se encuentran depositados,

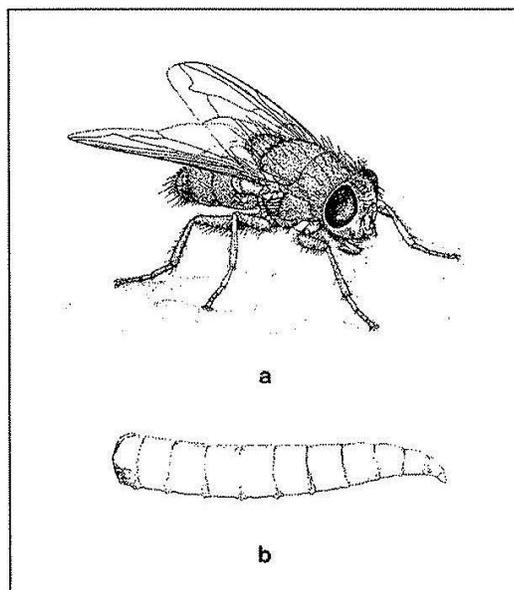


Fig. 2.- Díptero descomponedor (Calliphoridae): a) adulto y b) larva de *Calliphora* sp.

formando en conjunto un sistema parcheado de unidades (Hanski 1982, 1991, Putman, 1983) ricas en nutrientes, por lo que pueden soportar elevado número de especies (Atkinson & Shorrocks, 1981; Galante, 1991). Son por otra parte microhábitats que se caracterizan fundamentalmente por sus sucesiones biocenóticas, pudiéndose considerar como microecosistemas que se dirigen hacia su total destrucción gracias a la acción de los animales que se van sucediendo en el tiempo (Desiere, 1983; Galante, 1991; Hanski, 1991). Por otra parte, el número de individuos que se encuentran en cada una de las unidades puede variar enormemente, produciéndose una distribución agregada (Hanski, 1987; Kneidel, 1985) cuya consecuencia probablemente sea el que pueda coexistir un amplio número de especies en un mismo ecosistema (Shorrocks & Rosewell, 1987). En este sentido existen datos que indican que sólo en un cadáver de conejo pueden encontrarse más de 100 especies de artrópodos pertenecientes a 16 órdenes y 48 familias, si bien son las larvas de califóridos (Diptera: Calliphoridae) (Fig. 2), y en menor grado las de sarcófagidos (Diptera: Sarcophagidae), múscidos (Diptera: Muscidae) y derméstidos (Coleoptera: Dermestidae) (Fig. 3) las responsables directas de su descomposición (Tantawi *et al.*, 1996).

En ocasiones es difícil discernir si la fauna de artrópodos que interviene en los procesos de descomposición de heces y cadáveres es verdaderamente descomponedora, pero lo que sí podemos afirmar es que de su acción se deriva el que otros organismos considerados como verdaderos descomponedores (bacterias y hongos) puedan actuar más tarde en el proceso de degradación. Así por ejemplo las larvas de moscas y otros insectos producen la licuefacción de los tejidos de los cadáveres preparando indirectamente el sustrato para la intervención de microorganismos descomponedores. Por otra parte la acción de remover el excremento llevada a cabo por coleópteros adultos y larvas de dípteros, permite la actuación de microorganismos aerobios en el seno del excremento. En realidad la acción de los animales necrófagos y coprófagos es complementaria de la acción de los

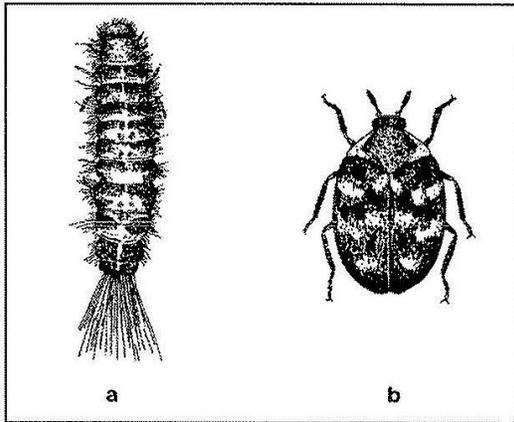


Fig. 3.- Coleópteros necrófagos (Dermestidae): a) larva de *Trogoderma* sp. y b) adulto de *Anthrenus* sp.

organismos verdaderamente descomponedores que son los microorganismos.

Mientras en los excrementos los grupos de artrópodos descomponedores juegan un papel preponderante en el reciclado de materia orgánica, en los cadáveres encontramos que los vertebrados carroñeros pueden llegar a adquirir una importancia mayor que los artrópodos descomponedores. Este grupo de vertebrados actúa sobre el cadáver al igual que lo hacen los depredadores sobre sus presas, no implicándose por tanto directamente en los procesos de descomposición. En este sentido existen datos que indican que en los ecosistemas templados, dependiendo de la estación del año, muchos de los pequeños cadáveres pueden ser totalmente destruidos por los vertebrados carroñeros como zorros, tejones, córvidos, etc. (Putman, 1983). La estación en la que los artrópodos descomponedores pueden utilizar en mayor medida los cadáveres es durante el verano, dado que las altas temperaturas provocan muchas veces la descomposición de los restos antes de que sean localizados por los vertebrados carroñeros. Esta competencia entre vertebrados carroñeros y artrópodos descomponedores se establece en todos los sistemas de cadáveres, dado que existen pocas diferencias entre una presa que acaba de ser cazada y un cadáver de un animal que acaba de morir. Sin embargo el proceso que ocurre en los excrementos o bien en un cadáver en putrefacción es muy diferente, ya que se trata de materiales muy específicos que soportan una entomofauna también muy determinada. Asimismo debemos considerar que también existen diferencias entre la fauna de excrementos dependiendo de su origen, debiendo distinguir especialmente entre los excrementos de carnívoros y los de herbívoros, dado que la composición de nutrientes es totalmente distinta. Mientras en los excrementos de herbívoros existe un alto componente de materia vegetal no digerida (80-75% del peso ingerido), el sistema digestivo de carnívoros es mucho más eficaz y los excrementos contienen menos materia aprovechable (Putman, 1983), de ahí que la fauna que acude a este tipo de heces sea más pobre.

### Descomponedores de cadáveres

La fauna de artrópodos descomponedora que acude a los cadáveres varía de acuerdo con el medio y las condiciones ambientales (Payne 1965; Nabaglo, 1973). En los

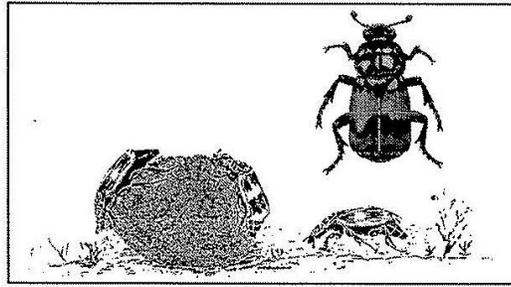


Fig. 4.- Coleópteros necrófagos (Silphidae): adultos de *Necrophorus* enterrando un fragmento de cadáver.

ecosistemas templados los grupos dominantes son dípteros y coleópteros y su acción sobre el cadáver acelera en gran medida el proceso de descomposición, reduciendo en casi un 60% el tiempo de permanencia del mismo en el suelo (Payne, 1965; Putman, 1977). No obstante el grado de actuación de estos animales descomponedores varía con la ubicación espacial del cadáver y la profundidad a que esté enterrado, observándose que disminuye el número de insectos que lo colonizan con la profundidad (Putman, 1983).

Los insectos que colonizan un cadáver lo hacen de forma secuencial y la naturaleza y duración de la descomposición depende del tamaño del cadáver y de las condiciones climatológicas y edáficas donde se encuentre el cadáver. Según Gullan & Cranston (1994) en la descomposición de un cadáver se pueden distinguir cinco fases: inicial (en la que intervienen sólo microorganismos ya presentes en el cuerpo), putrefacción, putrefacción negra, fermentación butírica y seca, siendo paulatinamente mayor la duración de cada una de ellas (Reed, 1985; Johnson, 1975) en una misma estación.

La colonización de cadáveres por parte de la entomofauna necrófaga es ordenada. Los primeros en llegar son los dípteros califóridos (Calliphoridae) y múscidos (Muscidae) que acuden a las pocas horas a depositar los huevos. Posteriormente, son los dípteros sarcofágidos (Sarcophagidae) que junto con especies de los dos grupos anteriormente mencionados, depositan sus larvas o huevos sobre el cadáver. Los principales depredadores de estas larvas son los coleópteros estafilínidos (Staphylinidae), histéricidos (Histeridae) y sílfidos (Silphidae), si bien todos ellos son también necrófagos. Cuando las vísceras comienzan a descomponerse, acuden a las partes líquidas los dípteros fóridos (Phoridae), drosophilidos (Drosophilidae) y sírfidos (*Eristalis*, Syrphidae). Por último, las larvas o adultos de coleópteros dermestidos (Dermestidae), trógidos (Scarabaeoidea: Trogidae) y cléricidos (Cleridae) comen las partes queratinizadas y las orugas de tineidos (Lepidoptera: Tineidae) se alimentan de los pelos y plumas restantes (Gullan & Cranston, 1994).

No obstante hemos de tener presente que los patrones de reparto de recursos tróficos dentro de un cadáver varían geográficamente (Anderson, 1982), teniendo cada localidad su propio conjunto de especies de artrópodos que intervienen en los procesos de descomposición de cadáveres, ya que a excepción de algunas especies cosmopolitas, cada región presenta su propia entomofauna necrófaga especializada (Katakura & Ueno, 1985). No obstante, los niveles taxonómicos superiores se mantienen constantes en todo el mundo.

Los insectos descomponedores de cadáveres por excelencia son los dípteros fundamentalmente las familias Calliphoridae, Muscidae y Sarcophagidae. Si bien los adultos

pueden alimentarse de los fluidos del cadáver, son las larvas los organismos verdaderamente descomponedores gracias a las secreciones enzimáticas que producen y que ocasionan la lisis de los tejidos que actúan de caldo de cultivo para los microorganismos. La importancia de los dípteros se centra fundamentalmente en los meses de verano y otoño como consecuencia de su fenología, pudiendo tener mayor importancia los coleópteros durante parte de la primavera. El ciclo de vida de la mayoría de las especies de dípteros es similar. Las hembras de califóridos y múscidos ponen numerosos huevos sobre la superficie de los cadáveres recientes, generalmente alrededor de orificios naturales, facilitando de este modo la penetración hacia el interior. Por el contrario, las hembras ovovivíparas de los sarcófagidos son menos fecundas y no depositan todas sus larvas en el mismo cadáver, sino que las distribuyen equitativamente entre varios (Hanski, 1987). El desarrollo larvario es muy rápido (3-4 días durante los meses estivales) y la pupación se hace fuera del cadáver, generalmente en el suelo bajo el mismo o en zonas cercanas. Tras un periodo que varía generalmente entre 10 y 30 días emergerán nuevos adultos que iniciarán el ciclo.

En los cadáveres se produce una sucesión de especies de dípteros en el tiempo, que ha sido utilizada en estudios de entomología forense, ya que la rápida colonización de los cadáveres por parte de los imagos y los predecibles patrones de crecimiento de sus larvas, les hacen ser buenos indicadores estimativos de los intervalos postmuerte. Así, pueden dar información sobre el lugar, momento y condiciones en los que se encontraba el cuerpo antes de ser hallado (De Jong, 1995). Los primeros dípteros en acudir al cadáver son los de mayor tamaño: califóridos seguidos de sarcófagidos y múscidos. Los adultos de las familias de menor tamaño como Psychodidae, Scatopsidae, Sciaridae, Phoridae, Sepsidae y Sphaeroceridae acuden a los cadáveres en su última fase de la descomposición, tras el abandono del cadáver por parte de los primeros colonizadores (Tantawi *et al.*, 1996).

Un hecho a tener en cuenta es que muchas especies que se desarrollan sobre cadáveres, pueden vivir también sobre heridas de animales y personas provocando las conocidas miasis. La palabra miasis procede del griego *myia* = mosca y se refiere a la infección de animales vertebrados vivos por larvas de dípteros que se alimentan durante cierto tiempo de los tejidos vivos o muertos de su hospedador, o de la comida por él ingerida (Hope, 1837). Probablemente uno de los ejemplos más conocidos por sus implicaciones económicas y medicoveterinarias es el de *Cochliomyia hominivorax* (Diptera: Calliphoridae), cuyas larvas se desarrollan sobre heridas de animales y humanos, pudiéndoles provocar la muerte.

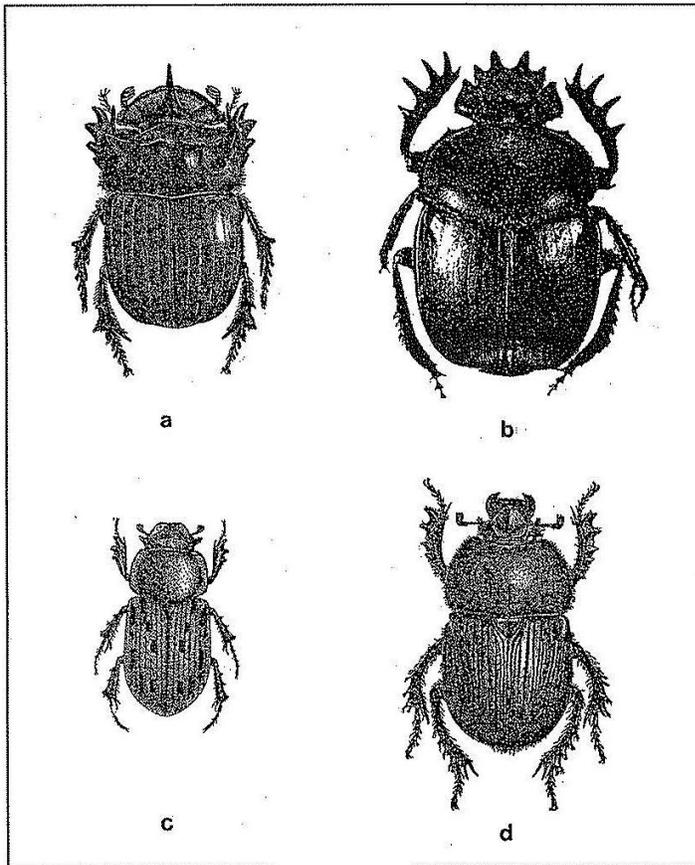


Fig. 5.- Coleópteros coprófagos Scarabaeoidea: a) *Copris lunaris* (Linnaeus) (Scarabaeidae), b) *Scarabaeus sacer* Linnaeus (Scarabaeidae), c) *Aphodius conspurcatus* (Linnaeus) (Aphodiidae) y d) *Geotrupes mutator* Marsham (Geotrupidae).

En cuanto a los coleópteros, son los Silphidae el grupo con una mayor incidencia en la destrucción de los cadáveres (Katatura & Uenio, 1985; Katatura & Fukuda, 1975), siendo en algunos ecosistemas su acción comparable a la que pueden ejercer los dípteros (Katatura & Sonoda, 1986). Dentro de esta familia, las especies más estudiadas bajo el punto de vista de comportamiento han sido del género *Necrophorus* (Halffter *et al.*, 1983; Milne & Milne, 1976). Son un grupo de coleópteros perfectamente adaptados a vivir en la carroña, completando en la misma todo su ciclo biológico. Los adultos forman galerías debajo del cadáver, entierran en una cámara el cadáver y a continuación eliminan las plumas o pelos que incorporan a la cámara de cría, forma una bola nido y finalizan por depositar los huevos en estos acúmulos enterrados (Fig. 4). De este modo se aseguran la supervivencia de la descendencia al evitar la depredación y la competencia. En esta operación intervienen tanto el macho como la hembra que continuarán cooperando y proporcionando cuidados parentales a las larvas hasta que estas lleguen al estado de ninfa. En ocasiones pueden desplazar varios metros el cadáver o partes del mismo con el fin de enterrarlo en lugares con suelo más propicio.

Por último debemos señalar la importancia que tienen las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en ecosistemas de regiones cálidas y tropicales (observaciones personales).

En éstos, las obreras localizan rápidamente el cadáver y transportan en un tiempo muy breve los restos del mismo hasta sus nidos con fines alimenticios.

### Descomponedores de excrementos

La degradación de los excrementos en las regiones templadas es prácticamente un proceso de descomposición, no existiendo, a diferencia con los cadáveres, animales de gran talla como son los vertebrados que utilicen este recurso. En la destrucción de excrementos intervienen de manera decisiva los factores climáticos como la lluvia, nieve, hielo, etc. (Bastiman, 1970; White, 1960), si bien varía con la estación del año y el hábitat (Olechowicz, 1974). No obstante, los artrópodos tienen también un importante papel en los procesos de descomposición de estos restos orgánicos, ya que existen diversos grupos que los utilizan tanto para la alimentación de los adultos como de las fases larvarias.

Hemos de tener en cuenta, que al igual que en los cadáveres, los excrementos, desde el instante inicial de su deposición, se constituyen en el polo de atracción de numerosas especies de insectos que acuden a ellos de forma secuencial (Galante, 1991). En este sentido de una manera generalizada podríamos distinguir una primera oleada de colonización de la boñiga constituida por Dípteros (fundamentalmente *Muscidae* y *Scatophagidae*) que acuden principalmente a ovopositar aunque en ocasiones visitan las heces por otros motivos como es el caso de la conocida mosca amarilla del estiércol (*Scatophaga stercoraria*) cuyos adultos depredadores van también a las heces en busca de presas. Los dípteros pueden llegar a representar el 30 % de los invertebrados presentes en las heces, habiéndose llegado a identificar hasta 109 especies de dípteros coprófagos en fase larvaria (Poorbaugh *et al.*, 1968). Este grupo de insectos posee su máxima actividad durante las primeras horas, antes de que se llegue a formar la rígida corteza externa de la boñiga. A continuación, coincidiendo en parte con la llegada de las moscas, acudirán diversas familias de coleópteros, siendo las más características *Hydrophilidae*, *Staphylinidae*, *Histeridae*, *Scarabaeidae* (Fig. 5 a y b), *Aphodiidae* (Fig. 5 c) y *Geotrupidae* (Fig. 5 d). De estas, las tres últimas son coprófagas y las tres primeras fundamentalmente depredadoras. Por último acudirán a la hez otros grupos de animales formados en su mayor parte por ácaros, nematodos y lombrices de tierra. No obstante este último grupo tiene un papel de menor relevancia en los ecosistemas mediterráneos del que tiene en ecosistemas de las regiones húmedas y frías, donde por otra parte la fauna de insectos coprófagos es generalmente más pobre. La importancia de la acción de este conjunto de invertebrados, reside no sólo en la eliminación directa de los restos orgánicos, sino en que las galerías que excavan en el seno del excremento, sirve de vía de penetración de numerosos microorganismos descomponedores. En estudios realizados con especies de coleópteros del género *Aphodius* (Scarabaeoidea: Aphodiidae), cuyas larvas y adultos viven y se desarrollan generalmente en el seno del excremento, se ha visto que provocan un incremento de hasta ocho veces el número de bacterias y hongos que se desarrollan en el mismo. Por otra parte estos microorganismos servirán a su vez de alimento a adultos de otros grupos de coleópteros escarabeidos coprófagos como son los de la familia Scarabaeidae (Halftter & Edmonds, 1982).

### Acción beneficiosa de los insectos descomponedores en los ecosistemas

El estudio de la entomofauna necrófaga y en especial la coprófaga, posee un gran interés ecológico y económico ya que, como se ha señalado anteriormente, la acción de fragmentación y enterramiento de los restos orgánicos favorece el desarrollo de los microorganismos y de las hifas micelianas que participan en la desintegración de los mismos (Lussenhop *et al.*, 1980). En las áreas de pastizal esta acción reviste además un interés adicional, ya que evita la acumulación de excrementos sobre el suelo, manteniéndose la fertilidad de las zonas de pasto (Bornemissza & Williams, 1970; Fincher, 1981; Lumaret & Kirk, 1987).

En nuestros ecosistemas de pastizal, el papel preponderante en el reciclaje rápido de los excrementos lo poseen los insectos coprófagos, y en particular los coleópteros escarabeidos coprófagos (Galante, 1991; Galante *et al.*, 1994). Este grupo de insectos juega un papel de gran importancia al provocar no sólo la desaparición de los excrementos por acción directa sobre los mismos, sino también por los cambios físico-químicos que introducen en el medio.

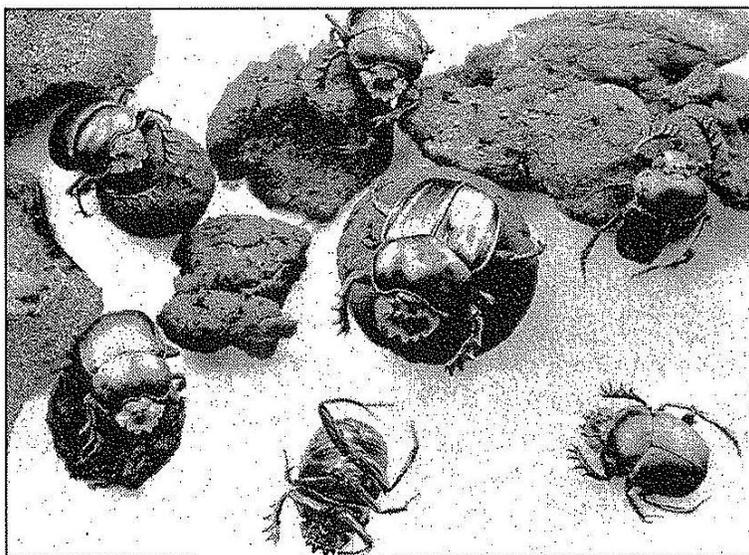
La rápida descomposición de cadáveres y excrementos adquiere una especial relevancia en el ciclo de nutrientes, teniendo una acción directa en la fertilidad del suelo y en la composición de la vegetación. Los altos niveles de nitrógeno que se liberan cuando un cadáver o un excremento es depositado en la superficie del suelo, son muy tóxicos y llegan a marchitar la vegetación circundante. Por otra parte se produce una pérdida importante de nitrógeno que se volatiliza en la atmósfera. Gillard (1967) indica que el 80% del nitrógeno contenido en una boñiga se pierde cuando ésta permanece en la superficie del pasto hasta que se seca, reduciéndose dicha pérdida entre el 5 y el 15% cuando actúan los coleópteros escarabeidos. Este nitrógeno se encuentra presente como componente de proteínas no digeridas y que son desnaturalizadas por las bacterias, perdiéndose en forma de amonio volátil. Por otra parte numerosos estudios (Bornemissza & Williams, 1970; Fincher, 1981; Macqueen & Bierne, 1975; Rougon & Rougon, 1980, 1981; Rougon *et al.*, 1988; Waterhouse, 1974; etc.) señalan que la acción de los coleópteros escarabeidos comporta efectos altamente beneficiosos en el crecimiento de la vegetación herbácea, ya que inducen un incremento de la fertilidad primaria del suelo al incorporar, en forma de coloides, diversos elementos entre los que cabe destacar el nitrógeno y el fósforo. La acción de estos grupos de insectos provoca una inmovilización de la materia orgánica y por tanto de la energía potencial, evitándose la pérdida de elementos minerales. Cuando los cadáveres y excrementos son enterrados por la acción de los insectos, se produce una incorporación al suelo de elementos minerales, provocando un enriquecimiento de los horizontes edáficos adyacentes (Breymer, 1974; Kalisz & Stone, 1984) que provocan la atracción de las poblaciones de microartrópodos del suelo y en particular de ácaros y colémbolos (Bertrand & Lumaret, 1984). Por otra parte la acción de enterramiento, generalmente incrementa de manera significativa la relación de bacterias/hifas micelianas (Lussenhop *et al.*, 1980), favoreciendo el desarrollo de bacterias amonificantes que aceleran el reciclaje de los restos orgánicos y por tanto la circulación del nitrógeno en el ecosistema (Breymer *et al.*, 1975; Loiseau *et al.*, 1984).

En relación con este aspecto, algunos autores han calculado el valor económico del papel desempeñado por los coleópteros; de este modo Fincher (1981) señala que el sector

agrícola de U.S.A. tendría que gastarse, en el supuesto de no existir una fauna adecuada de coprófagos, más de 2000 millones de dólares al año. Estas cifras que son bien significativas, vienen a reforzar por otra parte los datos existentes en otros países como Australia, donde las autoridades del C.S.I.R.O. (Commonwealth Scientific Industrial and Research Organization) se vieron obligadas a gastar, entre 1970 y 1985, millones de dólares en un programa de introducción de especies de escarabeidos coprófagos. En este país, como consecuencia de la carencia de una fauna adecuada y adaptada a la explotación de los excrementos del ganado que había sido introducido por los colonos, se vio en la necesidad de importar de otros continentes (África y Europa principalmente) una serie de especies que pudieran ejercer una acción de destrucción y reciclaje de los excrementos. La acumulación de excrementos no enterrados o no degradados había conducido a Australia a una pérdida anual

que llegó a estimarse en un millón de hectáreas. Después de esta operación, los pastos han vuelto a tener un aspecto normal, habiéndose mostrado la experiencia como altamente positiva.

Por último cabe señalar la importancia aplicada que tiene el estudio de los insectos necrófagos y sus sucesiones de especies a lo largo del proceso de descomposición del cadáver. Son estos estudios el objeto de la entomología forense, una especialidad no exenta de dificultades, que se encuentra muy poco desarrollada en España, y que sin embargo en ocasiones ha aportado pruebas que han sido cruciales para la resolución de investigaciones criminales. No obstante probablemente el problema principal resida en la necesidad de realizar estudios entomológicos pormenorizados sobre los insectos necrófagos de diferentes regiones geográficas, ya que, en la mayor parte de los casos, los datos obtenidos en una región no son extrapolables a otra.



# Vida de insecto

Como el agua, la vida busca su camino y ha logrado deslizarse por innumerables veredas. Sin duda los insectos son una de las formas de vida más exitosas de la Tierra. Conocemos, por ejemplo, unas 4,500 especies de mamíferos, 9,000 de aves, 8,000 de reptiles, 24,500 de peces y un millón de especies de insectos agrupadas en cerca de 30 órdenes y casi mil familias. Cada año se clasifican cientos de especies nuevas; los entomólogos calculan que podría haber de cinco a nueve millones de especies de insectos aún por descubrir: una riqueza que aguarda pacientemente.

Renato Gómez Herrera



Escarabajo elefante (*Megasoma elephas*). Por su gruesa coraza, gran tamaño, aspecto terrible y sorprendente fuerza (puede empujar objetos de 20 veces su propio peso) el escarabajo elefante es considerado uno de los coleópteros más poderosos.

Fotos: Rafael Salazar H.



El orden de los lepidópteros es uno de los más extensos. Hasta el momento se han registrado cerca de 150,000 especies pero quizá superen las 200,000.

**LOS INSECTOS** han colonizado prácticamente todos los ambientes de la Tierra: viven en las selvas, los desiertos, las zonas frías, en ambientes de agua dulce y en convivencia íntima con los seres humanos y muchos otros seres vivos... y muertos. El único hábitat donde la cantidad de especies de insectos es casi nula es el marino, lo que resulta curioso porque los insectos se

originaron en el mar y pertenecen al género de los artrópodos, que tienen una fuerte presencia y un papel fundamental en el ambiente marino.

### Diestros pilotos

Los insectos, además de ser los únicos artrópodos que pueden volar, son los primeros seres vivos que conquistaron el medio

aéreo. Los fósiles de las primeras libélulas datan del Carbonífero, hace 360 millones de años. Los primeros pterosaurios (reptiles voladores) aparecieron en el Triásico, unos 200 millones de años después, y luego, en el Jurásico, a inicios del Cenozoico, hace 65 millones de años, surgieron las aves y los murciélagos (mamíferos voladores).

La mayoría de los insectos están adaptados para efectuar vuelos cortos. Por ejemplo, las abejas, que invierten mucho tiempo para obtener polen, se paran a descansar muchas veces y los grandes coleópteros, como el escarabajo rinoceronte, proporcionalmente muy pesados, sólo pueden realizar vuelos cortos. Pero, por supuesto, hay insectos que realizan vuelos prolongados; existe una especie de langosta migratoria que puede volar miles de kilómetros en busca de alimento, y la mariposa monarca recorre 4,000 kilómetros en su travesía desde Canadá a los bosques del centro de México.

Tratándose de precisión en el vuelo, habría que mencionar a la libélula, el único insecto que puede mover las alas en forma alternada y no simétricamente como todos los demás. Esto les permite una maniobrabilidad perfecta y la posibilidad de mantenerse suspendidas sin perder el control.



### ¿Qué es un insecto?

- Artrópodos pequeños. Los hay desde invisibles a simple vista hasta los que alcanzan 30 centímetros.
- Son hexápodos. Todos los insectos tienen seis patas, pero hay contados casos de artrópodos de seis patas que no son insectos.
- Tienen simetría bilateral. La cabeza indica la dirección del movimiento.
- Tienen un exoesqueleto de quitina que protege su cuerpo y extremidades.
- Sus patas también son rígidas, segmentadas y articuladas.
- Su cuerpo está dividido en tres partes: cabeza, tórax y abdomen. Este último suele estar subdividido hasta en once segmentos.
- Generalmente nacen después de incubarse en un huevo (ovíparos), pero también los hay que salen del huevo casi inmediatamente después de la puesta (ovovivíparos). En algunas especies las crías nacen dotadas de completa movilidad (vivíparos).
- Algunas especies forman vastísimas colonias bien organizadas, como las hormigas, las termitas, las avispas y las abejas.
- La mayoría de los insectos abandonan los huevos y las crías quedan a su suerte, sin embargo hay especies que cuidan de su descendencia y es sorprendente que haya una especie de mosca que "amamanta" a sus crías.
- Muchas especies de insectos pueden volar. Son los únicos artrópodos que han podido conquistar el aire. La mayoría de los insectos voladores tienen sólo dos alas, las libélulas poseen cuatro.
- Cinco sextas partes de todas las especies de seres vivos conocidas pertenecen a la clase *Insecta*.
- Hasta ahora se han clasificado más de un millón de especies en cerca de 30 órdenes y casi mil familias, pero cada año se clasifican miles más.



**Langostas (Familia Acrididae).** Se conocen cerca de 20 mil especies de grillos. Casi todas son de climas cálidos. Son malos voladores. Tienen metamorfosis incompleta; las ninfas son muy parecidas a los adultos.

Las molestas moscas también tienen sus habilidades: son muy ágiles, sólo ellas pueden volar hacia atrás e incluso panza arriba, como pequeños aviones acrobáticos.

### ¿Todos chiquitos?

Los insectos son un grupo extraordinariamente diverso. Presentan tamaños, colores, formas y conductas muy distintas. Estamos acostumbrados a que sean bastantes pequeños y la mayoría lo son. Por ejemplo, muchos escarabajos miden menos de un milímetro de longitud, pero en las zonas tropicales pueden alcanzar tamaños sorprendentes. Hay escarabajos que miden 17 centímetros y algunos insectos palo llegan a los 30 centímetros de longitud.

Hay insectos que pueden considerarse joyas vivientes



por su aspecto deslumbrante y colorido. En Sudamérica vive un escarabajo de gran tamaño cuya superficie es de un color dorado espectacular, por lo que se le considera

una mascota exótica y desgraciadamente está en peligro de extinción.

Todos los insectos cuentan con un fuerte esqueleto externo de quitina que les da forma, sostén y protección, pero también con un sistema esquelético interno compuesto de cámaras (invaginaciones) llenas de fluidos a presión que dan soporte a órganos y músculos. Los órganos de los sentidos de los insectos, para percibir la luz, la presión, el sonido, la temperatura y los olores, están casi en cualquier parte de su exoesqueleto, no sólo en la cabeza. Las cigarras, por ejemplo, tienen los oídos en el abdomen. Hay otros insectos que escuchan o huelen con las antenas (como las mariposas nocturnas), y las moscas tienen el sentido del gusto en las patas, así que pueden saber si algo es apetitoso con sólo parársele encima.

El cuerpo de los insectos está dividido en tres regiones: cabeza, tórax y abdomen. En la cabeza, que es la unidad central de procesamiento de la información, se localizan los ojos, las antenas y los aparatos bucales. Las partes de la boca de las diversas especies son muy distintas según la acción específica que desempeñen: mascar, cortar, chupar, absorber, perforar, raspar, lamer, engullir o cualquier combinación de éstas.

Todos los insectos tienen algún tipo de órgano especializado para captar la luz, aun que no todos cuentan con la misma ca-

pacidad de visión. Es probable que las libélulas sean las que tienen el sistema visual más desarrollado entre todos los insectos, pues su condición de cazadoras así lo exige. Además de sus dos enormes ojos compuestos, tienen otros, llamados ocelos, en distintas zonas de la cabeza. Otros hábiles depredadores con ojos grandes y prominentes son las mantis, no comen carroña sino insectos vivos, capturan a sus presas con sus patas delanteras y las matan y devoran con sus poderosas mandíbulas. Empiezan por la cabeza para nulificar toda posible resistencia. En cambio, los mansos y pesados escarabajos son herbívoros y tienen ojos poco desarrollados y pequeños; algunos incluso son casi ciegos.

Los insectos también aspiran aire para

incorporar oxígeno a su metabolismo, pero no tienen pulmones. El aire entra a su cuerpo, gracias a la presión atmosférica, por una serie de orificios llamados espiráculos o estigmas, ubicados generalmente en los costados del abdomen.

Su sistema circulatorio es bastante sencillo. No tienen sangre ni venas, ni conductos por donde se desplacen fluidos. El interior de sus cuerpos se encuentra lleno de un fluido llamado hemolinfa que circula abierta y libremente llevando nutrientes a los distintos órganos.



## Se presume que podría haber hasta 10 millones de especies de insectos.

Muchos insectos se ven mucho más peligrosos de lo que son y ésta es una defensa efectiva, pues los depredadores prefieren no enfrentarse con un bicho de aspecto muy amenazante. Cuando la molestan, la mantis religiosa puede adoptar, por ejemplo, una posición que la hace parecer enorme y sumamente agresiva: se yergue, despliega sus brillantes alas y dispone sus patas delanteras como si fueran terribles agujones, aunque el daño que puede causar a un animal grande es insignificante. A la mayoría de las personas les horrorizan unos ortópteros llamados grillos topo, más conocidos en México como “cara de niño”; que pese a su desagradable aspecto, son absolutamente inofensivos.

### El éxito de la paternidad

El éxito evolutivo de los insectos radica en su gran capacidad para reproducirse; forman grandes poblaciones en tiempos cortos. Este comportamiento ha llevado a una gran variabilidad genética, la cual a su vez ha dado lugar a una gran diversificación en las especies y a la conquista de casi todos los nichos, y la adaptación a éstos.

Entre los insectos hay una gama muy diversa de formas de reproducirse. Algunas

Ciervo volador (*Lucan cervus*). Si un escarabajo elefante se cruza con un escarabajo ciervo, habrá pelea. El elefante embestirá con su prominente cuerno, pero las pinzas del ciervo son poderosas y pueden perforar la armadura de su contrincante.



especies se desarrollan a partir de huevecillos fuera de la madre, otras lo hacen dentro de ella y algunas más se desarrollan dentro de la madre sin que provengan de un huevecillo: la larva se desarrolla hasta su madurez en un oviducto modificado que funciona como una especie de útero. Esta viviparidad se da principalmente en los dípteros hematófagos. En la mosca tse-tsé, mientras la larva completa su desarrollo en este útero primitivo, es alimentada por la madre a través de unas glándulas que segregan una sustancia proteínica equivalente a la leche de los mamíferos.

La mayoría de los insectos son machos o hembras y se reproducen sexualmente, pero no todos. En algunos casos los machos son escasos o los hay sólo en algunas épocas del año; las hembras pueden entonces reproducirse solas, como es el caso de los áfidos o pulgones, pequeños insectos que viven en las plantas ornamentales y que comúnmente son plaga.

En su etapa juvenil los insectos casi siempre tienen un aspecto y una forma de vida muy diferentes a los que tienen de adultos. Para alcanzar la madurez pasan por un proceso profundo llamado metamorfosis. Sólo las especies más primitivas no sufren



Mariposa nocturna (*Cocytus anteus*). Esta polilla halcón pertenece a los esfingidos, cuyas alas pueden medir, de un extremo a otro, hasta 20 centímetros. De esta familia es la famosa polilla “cabeza de la muerte”, de la película *El silencio de los inocentes*.

metamorfosis y salen del huevo casi con forma adulta, aunque de menor tamaño.

### Comunicación entre insectos

Hay muchas especies de insectos que producen ruidos. El escarabajo “clic” ganó su nombre por el sonido que produce cuando salta de rama en rama. Los grillos son famosos por el peculiar cri-cri que inunda el campo en las noches. Pero el insecto más ruidoso del mundo es la chicharra macho, cuyo chirrido puede escucharse a casi dos



Ejército de cigarras (Familia *Cicadidae*). Las cigarras (o chicharras) pertenecen al orden de los hemipteros, que cuenta con 134 familias y 82 mil especies conocidas.

¿cómo ves?

13

kilómetros de distancia. Algunas especies de chicharras pueden vivir hasta 17 años. El insecto más longevo es una especie de hormiga reina que llega a vivir 50 años.

Los insectos no sólo se comunican por medio de sonidos: las formas y los colores son muy importantes. No es casual que, por ejemplo, en cada especie de mariposa se hayan desarrollado patrones únicos de colores y de formas. Y otra forma fundamental de comunicación entre los insectos son los olores. Los insectos poseen un sentido del olfato muy desarrollado en las antenas. Por ejemplo, las hembras de muchas especies de mariposas nocturnas dejan rastros de feromonas en la oscuridad que los machos pueden seguir a lo largo de kilómetros gracias a espectaculares antenas que filtran el aire nocturno. Cuando una abeja



### Exposición InSecta

Por primera vez el público podrá apreciar una parte de la Colección Nacional de Insectos "Dr. Alfredo Barrera Marín", que es muy valiosa por contener especímenes que se consideran extintos o que no existen en ninguna otra colección. La exposición será inaugurada el jueves 18 de noviembre a las 18:00 hrs. en el Museo de Historia Natural, en la Ciudad de México, y estará abierta durante seis meses de martes a domingo.

[museodehistorianatural@yahoo.com.mx](mailto:museodehistorianatural@yahoo.com.mx)

pica, su aguijón no sólo inyecta un doloroso veneno, sino que libera feromonas que atraen y excitan a muchas otras abejas para que se lancen contra el enemigo y esto puede desencadenar un furioso ataque.

### Grandes ciudades

Los insectos constituyen la mayor parte de la masa viva del planeta. Esto, desde luego, no se debe a su tamaño individual, sino a que son muy numerosos. Además, pueden vivir en grupos formando colonias más grandes y complejas en proporción que las ciudades humanas.

Las termitas, las avispas, las abejas y las hormigas tienen un comportamiento social muy definido. No obstante que llegan a ser millones, tienen tareas perfectamente asignadas. Entre las abejas melíferas sólo la reina es capaz de poner huevos; toda la población desciende de la misma madre y las demás hembras son estériles y se les llama obreras. Unos cuantos machos completan la colonia. Las colonias de hormigas y termitas pueden durar décadas, mientras que las de avispas se reinician cada año.

En las hormigas y las abejas hay dos segmentos de población distintos: uno poco numeroso que puede tener descendencia y otro estéril, que constituye la inmensa mayoría. Si todos son hijos de la misma reina, ¿cómo es que hay

**Esta mariposa azul habita principalmente en los bosques de Centro y Sudamérica.**

dos tipos diferentes de crías?. Esto depende de la alimentación de las crías, las destinadas al trabajo reciben una alimentación que no permite el desarrollo de las glándulas que hacen madurar su aparato reproductor (a esto también se le conoce como "castración fisiológica") y una minoría de larvas son alimentadas y estimuladas hormonalmente, desde sus primeras etapas, para que puedan engendrar una nueva generación.

### Pequeños pero importantes

Los insectos participan en todos los procesos que tienen que ver con la vida. Son al mismo tiempo consumidores y degradadores de toda la materia viva. Donde se puede apreciar mejor el papel que los insectos tienen en los equilibrios ecológicos es en la degradación de un cadáver. Según la etapa de la degradación, se van incorporando en ella secuencias precisas de especies de insectos. Un cadáver que se descompone es un ambiente lleno de vida.

Pero los insectos también pueden llegar a convertirse en plagas. Si, por ejemplo, una especie de langostas quedara de pronto libre de depredadores que regulen su población, se multiplicaría explosivamente con el consiguiente problema para la industria agroalimentaria. El propio desarrollo humano conlleva el desarrollo de otras plagas, ¿dónde pueden estar mejor las cucarachas que conviviendo con nosotros, que las dotamos de abundante comida y un hábitat ideal?

Hay muchísimos datos sorprendentes acerca de los insectos. Esperamos que estas líneas piquen como aguijones tu curiosidad sobre estos bellos animales, de los cuales apenas 1% son considerados una plaga y el resto cumple una importantísima función dentro de la naturaleza. 🐞





DE NUESTRO POZO



DE NUESTRO POZO

2 ECOFRONTERAS

# Fauna invisible: los escarabajos degradadores

Alejandro Morón Ríos

Cuando se habla sobre procesos de degradación de la materia orgánica (especialmente residuos de las plantas), resulta casi instantánea la mención de las lombrices y su uso para hacer abono. Sin embargo, es muy raro que se aluda a los estados inmaduros o larvas de los escarabajos, que también consumen residuos vegetales –como las hojas–, y al igual que las lombrices, contribuyen a la degradación e incorporación al suelo de la materia vegetal muerta.

Éste es el caso del escarabajo *Xyloryctes lobicollis*, conocido popularmente como torito o conchudo por la presencia de un cuerno en la



cabeza de los machos y la dureza de su cuerpo. Su longitud total es de entre 2.4 y 3.2 cm. Tiene una amplia área de distribución; se le encuentra en los estados de Chiapas, Puebla, Hidalgo, Veracruz y Oaxaca, así como en América Central. Su presencia se asocia a las comunidades vegetales de bosques de pino, pino-encino, bosques de neblina y vegetación secundaria derivada del disturbio de las anteriores.

Los ejemplares adultos son de hábitos nocturnos y es frecuente verlos volar alrededor del alumbrado público, pues son atraídos por la luz al igual que otros insectos. Durante el día es difícil detectarlos porque generalmente se entierran en el suelo o se esconden en la hojarasca del bosque.

Su desarrollo, como el de todos los escarabajos, ocurre a través de metamorfosis completa, esto es, su ciclo de vida presenta cuatro etapas: huevo, larva, pupa (figura 1) y adulto (figura 2).

(A) Huevo. Las hembras ponen sus huevecillos en el suelo del bosque, en lugares con mucha hojarasca, que será el alimento de las larvas al nacer.

(B y C) Larva. Esta etapa puede durar casi dos años. Son "gallinas ciegas" de color blanco-amarillento que consumen hojarasca, con lo que ayudan a descomponer la materia e incrementan la fertilidad del suelo donde viven. Crecen en tres fases hasta medir entre 7 y 9 cm de largo. En la última fase pueden consumir en promedio 8 g de hojarasca en siete semanas. Si consideramos que en una hectárea de bosque de neblina podrían encontrarse hasta 900 individuos (en el caso de que su distribución fuera uniforme), de manera muy general sería posible sugerir que durante la última fase de su desarrollo larvario, la especie procesa alrededor de 7 kg de hojarasca por hectárea, en aproximadamente dos meses.

(D) Pupa. Durante este periodo la larva fabrica una "casita" con componentes del suelo y su saliva. Dentro de ella el organismo se transforma poco a poco en un

escarabajo.

(E) Adulto. Esta etapa se presenta a partir del mes de mayo y es usual verlos volando más o menos hasta julio. Durante su vida adulta se reproducen y el ciclo vuelve a comenzar. Se desconoce de qué se alimentan, aunque probablemente consuman restos vegetales en descomposición o las raíces muertas de los árboles.

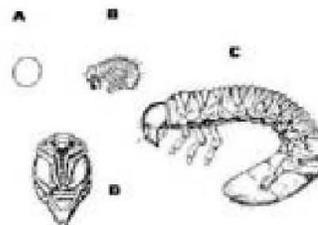
### Estudios en ECOSUR

Anteriormente era más fácil encontrar *Xyloryctes lobcollis* en las diversas zonas donde habitan, como en el Valle de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, pero es probable que se hayan vuelto escasos debido a la pérdida de vegetación. Al respecto, en la colección entomológica de ECOSUR se ha registrado la presencia de adultos en diferentes regiones del estado, lo que permite determinar con mayor detalle su patrón de distribución.

Por otra parte, en ECOSUR también se han realizado estudios con las larvas de estos insectos para conocer las tasas de consumo de hojarasca en su última fase de desarrollo, documentar los patrones de distribución y abundancia en diferentes condiciones del bosque y determinar el aporte de nutrimentos al suelo a través de sus excretas; todo lo cual nos brinda un conocimiento más amplio de la especie y su importancia ecológica.

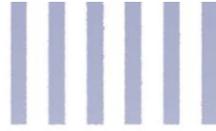


(figura 2) Escarabajo adulto



(figura 1) ciclo de vida del escarabajo.

Alejandro Morón es investigador del Área de Conservación de la Biodiversidad, ECOSUR Campeche {amoron@camp.ecosur.mx}.



Miguel Ángel Morón



# Escarabajos

200 MILLONES DE AÑOS DE EVOLUCIÓN

Instituto de Ecología A.C.  
Xalapa, Veracruz, México

Sociedad Entomológica Aragonesa  
Zaragoza, España

2004



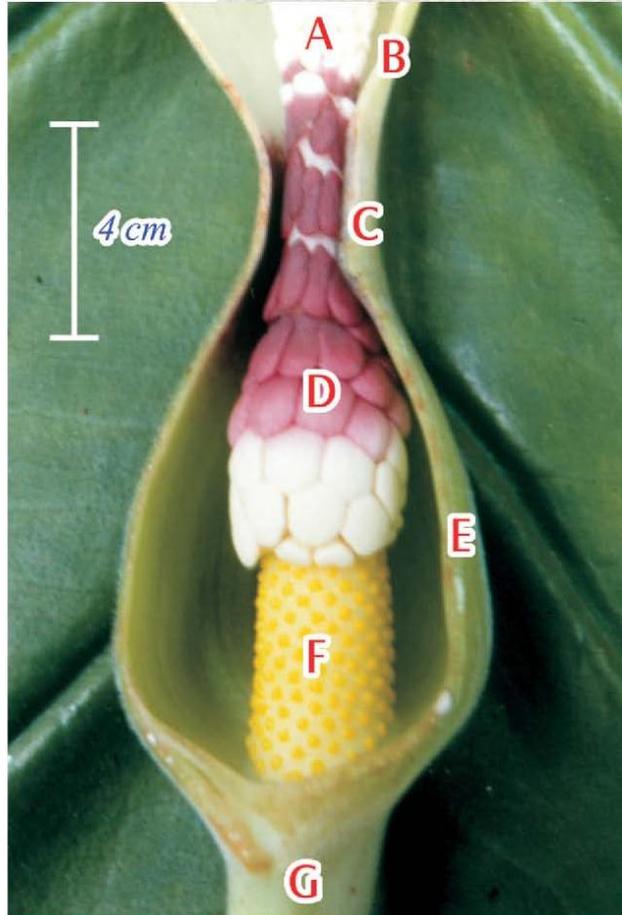
## ¿Qué comen y cómo se reproducen?

Un gran número de especies de escarabajos se alimentan de los tejidos vegetales vivos (fitófagos), bien sea de hojas (filófagos), raíces (rizófagos) o frutos (frugívoros), incluyendo algunos que pueden consumir los tejidos fibrosos presentes en los tallos de palmeras y gramíneas\*. Otro elevado número de especies se nutren con materia orgánica humificada\*, bajo la hojarasca, en cavidades formadas en el tronco de árboles vivos o muertos, y dentro de las capas superficiales del suelo.

Muchos escarabajos altamente especializados se alimentan de carroña (necrófagos), de hongos vivos o descompuestos (micetófagos), y en casos extremos están asociados con termitas u hormigas (termitófilos y mirmecófilos), dependiendo de los desechos y otros productos de esas colonias.

Las flores son uno de los factores decisivos en la evolución de muchos insectos, ya que les proporcionan alimento energético concentrado (néctar) y alimento protéico (polen). A cambio de esto el vegetal obtiene de los insectos el medio de transporte para conseguir su fertilización cruzada.

Algunos tipos de inflorescencias grandes, como la “mafafa” (*Xanthosoma robustum*) y otras aráceas\*, además de alimento proporcionan refugio a muchas especies de escarabajos pequeños en las selvas americanas (Figs. 78, 93), como ha sido comprobado con varias especies del género *Cyclocephala* (Morón, 1977; 1999). Los escarabajos machos y hembras son atraídos por el olor de la inflorescencia madura, pasan por el interior del limbo y el cuello de la espata\* para alimentarse con los estaminodios\* estériles, pero se acumulan en el interior del tubo de la espata cuando el cuello se cierra, así, mientras comen se desprenden los granos de polen que se les pegaron durante su visita a otra inflorescencia y quedan sobre las flores femeninas de la base del espádice\*. Al mismo tiempo maduran las flores masculinas del ápice del espádice de modo que, al abrirse el cuello, los escarabajos pueden salir caminando sobre el espádice y se les adhieren los granos de polen para llevarlos a otra inflorescencia y repetir el proceso.



93.- Inflorescencia de *Xanthosoma violaceum* mostrando las partes que alimentan a sus polinizadores del género *Cyclocephala*. Soconusco, Chiapas.

- A= flores masculinas en el extremo apical del espádice;
- B= limbo de la espata;
- C= cuello de la espata;
- D= estaminodios estériles alimento de los escarabajos;
- E= cámara de la espata;
- F= flores femeninas en el extremo basal del espádice;
- G= peciolo.



Cuando vuelan los grandes escarabajos como el "Goliath" (Fig. 94) tienen que usar como "combustible" el equivalente de cuatro gramos de azúcar por hora, (o sea una décima parte de su peso) almacenados durante la visita a gran cantidad de tallos con escurrimientos azucarados, normalmente fermentados por bacterias o levaduras.

La gran cantidad de escarabajos que podemos encontrar en el excremento se debe a que éste contiene muchos nutrientes no aprovechados, así como millones de bacterias activas que sintetizan sustancias básicas para la dieta de otros animales. El estiércol bovino contiene un 48% de nutrientes digeribles (proteínas y azúcares), pequeñas cantidades de minerales, nitrógeno asimilable y un 30% de agua. En la naturaleza es un recurso alimentario abundante pero temporal, objeto de una enorme competencia, lo que ha propiciado una gran especialización ecológica en los escarabajos.

Muchos escarabajos se alimentan exclusivamente de madera debilitada o podrida, formada por agua, materiales no digeribles (lignina) y celulosa, la cual sólo puede aprovecharse con ayuda de microbios que se desarrollan en el interior de su intestino (simbiontes).

Las larvas de *Megasoma*, como casi todos los escarabajos, tienen modificaciones especiales en su aparato digestivo (cámara de fermentación) (Fig. 100) favorables para la existencia de los simbiontes, cuyos cadáveres y desechos son una fuente de proteínas, azúcares y grasas indispensables para el crecimiento del coleóptero. Sin embargo, este proceso es lento y necesita de una gran cantidad de madera masticada que sirva como alimento para los simbiontes del intestino; razón por la cual estos escarabajos consumen hasta 100 veces su peso en madera durante 24 meses (Morón, 1983, 1984).

En virtud de la gran diversidad de hábitos de alimentación de las larvas y adultos de escarabajos, y las variantes que tiene su reproducción, nos limitaremos a comentar la biología de cinco especies considerablemente diferentes, que ilustran la enorme capacidad de adaptación de estos insectos.



### *Goliathus orientalis* Moser

Esta espléndida especie se distribuye en las sabanas poco húmedas de África, situadas entre los 1 200 y 1 400 m de altitud en el extremo oriental del Congo. El diseño de las manchas blancas varía mucho entre los individuos, por lo cual se han descrito infinidad de formas y variedades que son muy apreciadas por los coleccionistas de insectos de todo el mundo (Fig. 94).

Los adultos pueden alcanzar una longitud de 120 mm son muy buenos voladores y permanecen sobre las copas de los árboles en floración, alimentándose de escurrimientos de savia dulce. Durante la noche reposan entre las ramas más altas, pero tan pronto como amanece se activan y levantan el vuelo ante la menor alarma, por lo cual es difícil observarlos y capturarlos.

Por el contrario, sus larvas se desarrollan dentro de grandes troncos podridos de mimosáceas\*, euforbiáceas\* y combretáceas\* (Lachaume, 1983). Las hembras tienen las patas anteriores provistas de espinas afiladas, que les facilitan escarbar en estos troncos para depositar sus huevos.

Las otras especies de *Goliathus* son: *G. goliathus* (Linné) (Fig. 43) que se distribuye en los bosques tropicales húmedos de Nigeria, Camerún, África Central, Gabón, Congo, Zaire, Uganda, Tanzania y Kenia, asociado con el árbol *Vernonia conferta* (Compositae\*). *G. regius* Klug, establecida en los bosques de Sierra Leona, Guinea, Ghana, Costa de Marfil, Nigeria y el Alto Volta, en forma simpátrica\* con *G. cacicus* Olivier y *G. atlas* Nickerl (Lachaume, 1983). La especie más pequeña del género es *G. albosignatus* Boheman (40-70 mm) y está restringida a los bosques tropicales menos húmedos de Zimbabwe, Malawi, Mozambique y parte de Sudáfrica, donde se alimenta con escurrimientos de savia de *Acacia* sp., *Zyziphus mucronata*, *Combretum molle*, y en frutos de higuera y durazno (Holm y Marais, 1992).

Otros miembros africanos de la tribu Goliathini notables por su colorido, como *Amaurodes passerini* Westwood (Fig. 8), *Eudicella*



94.- Diorama que ilustra la actividad de vuelo de *Goliathus orientalis* Moser. Observe que estos cetónidos no abren completamente los élitros durante el vuelo, con lo cuál obtienen un perfil mas aerodinámico. Expansión alar 21 cm. (Foto J. I. González Manterola).



95.- Diorama que ilustra el inicio del rodaje de una bola de estiércol construída por *Canthon humectus* Say. El macho se encuentra cabeza abajo empujando la bola. Modelos de 12-14 cm. (Foto J. I. González Manterola).



*smithi bertherandi* Fairmaire y *Dicronorrhina derbyana* Westwood, se alimentan en árboles de los géneros *Acacia*, *Albizzia*, *Cassia*, *Protea*, *Zizyphus*, *Delonix*, *Lantana*, *Combretum* (Sakaguti, 1982; Holm y Marais, 1992).

### ***Canthon humectus* Say**

Estos escarabajos, muy abundantes en las tierras templadas de México son conocidos popularmente como “rueda-cacas”, “rodadores” o “vaqueros”, debido a sus hábitos de alimentación y reproducción en los depósitos de estiércol fresco. Durante la época reproductora un macho corta un trozo de estiércol lo compacta y le da forma esférica, con lo cual atrae a la hembra. Formada la pareja, el macho empieza a rodar la bola auxiliado por su compañera, alejándose hasta 10 metros de la boñiga para evitar la competencia con otros escarabajos y las moscas. Entonces buscan un lugar con suelo blando, en donde el macho escaraba para enterrar la bola (Fig. 95).

Después de fecundar a la hembra el macho se aleja y ella remodela la bola para colocar dentro un huevo bien protegido y abandona ese nido para formar otro (Halffter y Matthews, 1966; Halffter y Edmonds, 1982).

Como en otras especies coprófagas formadoras de bolas-nido, la cantidad de estiércol que comprende la bola de *Canthon humectus* es la necesaria para que su larva alcance el estado adulto. Estas larvas presentan sus mandíbulas adaptadas para comer el estiércol más o menos endurecido que contiene la bola, mientras que los adultos tienen las mandíbulas poco endurecidas y provistas de hileras de sedas\* en forma adecuada para comer el estiércol fresco y semisólido (Fig. 113).

Las especies incluidas en la subtribu Canthonina también muestran una amplia gama de hábitos alimentarios, ya que además de consumir estiércol y carroña, algunas especies como *Canthon (Glaphyrocantion) rubrescens* (Blanchard) se han encontrado alimentándose de “palmitos” recién cortados; *Canthon (Peltecantion) staigi*



96.- Adulto de *Ogyges marilucasae* Reyes-Castillo y Castillo, frente a los huevos situados entre el aserrín preparado para la protección y alimentación inicial de las larvas. El Triunfo, Chiapas. Abril 1983.



97.- Adulto y larvas de tercer estadio de *Verres corticicola* (Truqui) dentro de una galería excavada en un tronco podrido no identificado. Los Tuxtlas, Veracruz. Longitud 40-50 mm. (Foto M. L. Castillo).



98.- Celda pupal de *Oxyges marilucasae* dentro de una galería construida en un tronco podrido. El Triunfo, Chiapas. Abril 1983. Longitud 40 mm.



99.- Vista ventral de una pupa de *Proculus opacus* Kuwert obtenida en una galería excavada en la base de un tocón podrido. La Trinidad, Chiapas. Mayo 1982. Longitud 60 mm.



Pereira y *Canthon quinquemaculatus* Laporte frecuentan los bejucos fétidos recién cortados; y *Canthon lituratus* (Germar) es atraído por los frutos maduros de “butia” en Paraná, Brasil.

En otro sentido, los adultos de *Canthon virens* Mannerheim actúan como depredadores de los individuos sexuales de las hormigas cortadoras del género *Atta*, a los cuales atacan durante el inicio del vuelo nupcial, decapitándoles con ayuda del cípeo\* y las tibiae anteriores, para consumir el contenido del abdomen, o para construir bolas-nido con el tejido ovígero\* de las hormigas “reina”.

Algunas otras especies, como *Canthon (Glaphyrocanthon) quadriguttatus* (Olivier) y *Canthon (Glaphyrocanthon) subhyalinus* (Harold) pueden encontrarse entre el pelo de los monos aulladores (*Alouatta* spp.) y otros monos pequeños (*Callicebus brunneus*), aprovechando los restos de excremento adheridos al pelo o las deyecciones frescas de estos primates sudamericanos (Halfpter & Matthews, 1966).

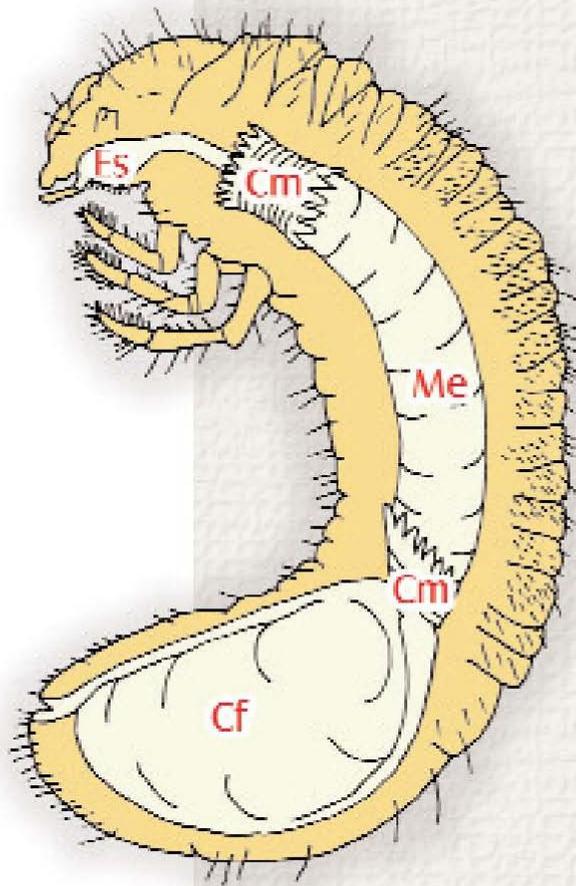
### ***Proculus opacus* Kuwert**

Son escarabajos que habitan sólo en las montañas húmedas del Este de Chiapas y Oeste de Guatemala, dentro de grandes troncos en descomposición. Como característica particular tienen las alas membranosas muy reducidas, parecidas a varillas delgadas que sólo utilizan para producir sonidos (estridulación), y sus élitros no pueden abrirse.

A diferencia de otros escarabajos cuyos adultos viven cuando mucho seis meses, los pasálidos sobreviven hasta dos años alimentándose con madera húmeda. Bajo ciertas circunstancias se ha observado que comen los cadáveres de sus congéneres y matan a sus propias larvas.

Sus grandes mandíbulas son muy potentes y pueden ejercer una fuerza de 954 gramos, adecuada para excavar túneles con longitud superior a los dos metros (Reyes-Castillo y Jarman, 1981).

Todos los pasálidos viven en grupos “subsociales” de organización compleja (aún poco estudiada), formados por machos, hembras,



100.- Esquema que muestra la forma y ubicación del aparato digestivo de una larva de dinastino, destacando las proporciones de la cámara de fermentación que constituye el 40% del peso del intestino cuando esta lleno de alimento. Es = estomodeo; Cm = ciegos mesentéricos; Me = mesenterón; Cf = cámara de fermentación.



larvas y pupas que para comunicarse entre sí utilizan una amplia gama de estridulaciones. Estos sonidos son producidos por los adultos al raspar sus alas contra los élitros, o por las larvas al frotar sus patas posteriores muy reducidas y especializadas (Fig. 97).

Hasta donde se sabe, las larvas de Passalidae no pueden desarrollarse completamente sin la presencia de los adultos; lo cual parece deberse a la falta de algún complemento nutritivo que los escarabajos adultos expulsan con sus excrementos, y que se mezcla con el aserrín que comen las larvas (Fig. 96).

Los adultos ayudan a la larva para construir una cámara en las galerías, dentro de la cual ocurren las últimas fases de la metamorfosis (Figs. 98, 99) (Reyes-Castillo,1970-1983; Schuster,1975-1983).

### ***Megasoma elephas* Fabricius**

Es el insecto más grande que vive en México, siempre asociado con las selvas que se encuentran abajo de los 900 m de altitud, desde Veracruz hasta Chiapas y Yucatán. Otra especie parecida, pero un poco más pequeña y esbelta (*M. occidentalis*) habita en los bosques tropicales establecidos entre Sinaloa y Oaxaca.

El adulto puede llegar a pesar más de 32 gramos (Fig. 101), en el día descansa sobre las ramas de los árboles, vuela durante la noche en busca de ramas tiernas, comiendo el tejido situado bajo la corteza, o las secreciones que fluyen de esos cortes, aunque también puede comer los frutos maduros de diversos árboles. Después del apareamiento a mediados de otoño, la hembra (Fig. 102) busca un hueco lleno de humus en un tronco muerto o una rama podrida para depositar en él hasta 30 huevos. Al cabo de 30-34 días los huevos dan origen a las *larvas de primer estadio*, las cuales se alimentan durante dos meses antes de pasar a un *segundo estadio* con cinco meses de duración.

El *tercer estadio* transcurre durante 13 a 25 meses hasta que la larva obtiene un peso de 56 a 85 gramos (Fig. 103), después de lo cual construye una celda en la que se transforma en *pupa* (Fig. 104).



101.- *Megasoma elephas* (Fabricius) ♂ Los Tuxtlas, Veracruz. 70 mm.



102.- *Megasoma elephas* (Fabricius) ♀ Los Tuxtlas, Veracruz. 70 mm.



103.- Larva de tercer estadio de *Megasoma elephas* criada en cautiverio a partir de una pareja colectada en Carrillo Puerto, Quintana Roo. Longitud aproximada 21 cm.



104.- Pupa de un macho de *Megasoma elephas* obtenida de una larva colectada en el Soconusco, Chiapas. Longitud 8.8 cm.



En el verano, cuando han pasado de 68 a 80 días más, aparece el *adulto maduro*, el cual necesitó para desarrollarse un total de dos a tres años, durante los que comió cerca de ocho kilos de madera húmeda (Morón,1983).

En Sudamérica se elaboran collares y pulseras con los cuernos cefálicos de otras especies de *Megasoma* (*M. actaeon*, *M. mars*) atribuyéndoles propiedades afrodisiacas; y los indígenas buscan las larvas bien desarrolladas como complemento de su alimentación, ya que son ricas en proteínas y grasas.

En las regiones semiáridas del Norte de México y sur de los Estados Unidos habitan ocho especies de *Megasoma*, cuya longitud total varía entre los 25 y los 46 mm, las cuales constituyen poblaciones derivadas de un primer núcleo que pudo desarrollarse en estas áreas entre el Oligoceno\* y el Mioceno\* (hace más de 25 millones de años).

*Megasoma pachecoi* Cartwright sólo se encuentra en las cercanías de Ciudad Obregón, Sonora y se alimenta de *Cercidium torreyanum*; mientras que en el extremo sur de la Península de Baja California habitan *M. thersites* LeConte, que frecuenta los arbustos propios del matorral xerófito como *Acacia* sp., y *M. lecontei* Hardy, cuyos hábitos permanecen desconocidos.

*Megasoma cedrosum* Hardy se distribuye en Baja California Norte, en tanto que *M. punctulatum* Cartwright y *M. sleeperi* Hardy viven en los matorrales con dunas de California y Arizona. En Texas y Tamaulipas se encuentra *Megasoma vogti* Cartwright asociada con los arbustos de *Prosopis juliflora*.

La distribución de estas especies pequeñas ligada con zonas áridas y semiáridas contrasta notablemente con la distribución de las especies gigantes (*M. elephas*, *M. actaeon*, *M. anubis*, *M. mars*, *M. gyas*) establecidas en los bosques tropicales perennifolios o caducifolios de Centro y Sudamérica.



### ***Phanaeus mexicanus* Harold**

Se les conoce como “toritos del estiércol” o “temayates”, y son abundantes en los pastizales cálidos de Morelos, Guerrero, el estado de México y algunas regiones de Veracruz. Vuelan sobre todo al mediodía, buscando estiércol, y cuando lo encuentran escarban un túnel de protección en el cual empaican una porción de excremento para alimentarse, evitando que se seque y que las moscas depositen sus huevos en él.

En la época de reproducción la hembra corta un pedazo de estiércol y lo empuja hasta 11 m, con lo cual atrae a un macho que colabora en la excavación de una galería nupcial y en el empaque del alimento. Después cooperan en la construcción de una galería de nidificación situada debajo de una boñiga, desde la cuál acarrearán el estiércol hasta el fondo del túnel situado a 20 o 30 cm de profundidad, donde la hembra forma una esfera de excremento, la protege con una gruesa pared de tierra compacta, construye una celda en donde coloca un huevo, y abandona el nido después de cerrar con tierra la entrada para buscar más estiércol y hacer otro nido (Fig. 105) (Halffter, Halffter y López, 1974; Halffter y Edmonds, 1981).

La conducta de reproducción en *Phanaeus* y en *Copris* se ha calificado como una forma inicial de comportamiento “subsocias”, porque tanto el macho como la hembra colaboran para proporcionar a sus crías un lugar protegido con el alimento necesario para lograr su desarrollo hasta la etapa adulta (Fig. 106).

La nidificación de *Liatongus monstrosus* (Bates) es un ejemplo muy interesante de especialización bajo condiciones relictuales\*. Presenta un dimorfismo sexual muy marcado y habita sólo en los cúmulos de desperdicios de los hormigueros de *Atta mexicana*, en algunas localidades del estado de Jalisco.

A diferencia de otras especies de *Liatongus* que se distribuyen en las áreas tropicales de África y Asia, con hábitos totalmente coprófagos, *L. monstrosus* se alimenta y nidifica sólo con los desperdicios de las hormigas. Los adultos cavan galerías verticales por debajo de los “basu-

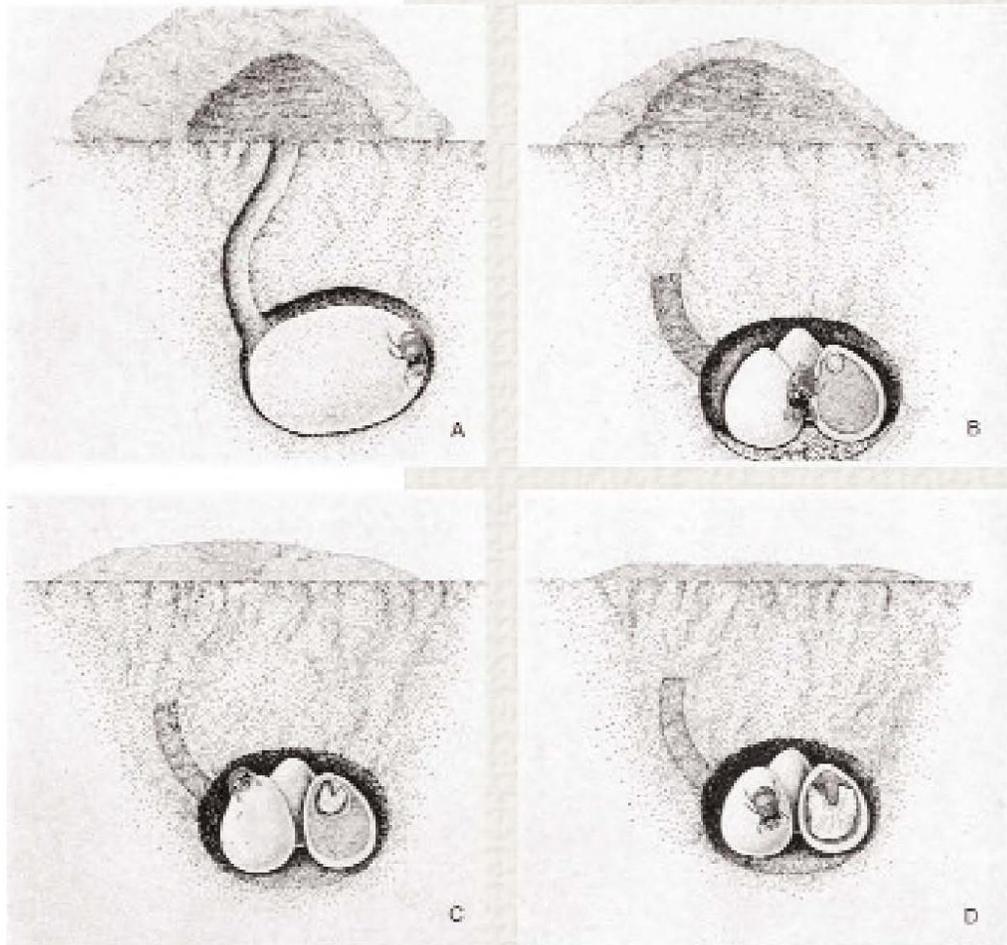


105.- Diorama que ilustra la etapa final de la construcción de una bola-nido de *Phanaeus mexicanus* Harold. La hembra retoca la cubierta de tierra sobre la cámara del huevo y la bola de estiércol. El macho obstruye temporalmente el túnel de entrada antes de empezar la construcción de otra cámara de nidificación asociada al mismo túnel. Modelos de 20-30 cm. (Foto J. I. González Manterola).

ros”, de 55 a 60 cm de longitud con ramificaciones rellenas con desperdicios compactados. La hembra deposita un huevo después de empaquetar los primeros diez centímetros de substrato, y continúa introduciendo desperdicios a lo largo de otros diez centímetros antes de colocar otro huevo, repitiendo el proceso hasta siete veces.

En estos nidos seriados, sin tapones de tierra intermedios, es posible encontrar al mismo tiempo huevos y larvas en varias etapas de crecimiento. Antes de transformarse en pupa, la larva de tercer estadio construye una celda pupal mediante sucesivas evacuaciones de excremento, a la cual concluye con una tapadera del mismo material. (Anduaga, Halfpter y Halfpter, 1976).

Otros escarabajos, como el “frailecillo” *Macroductylus nigripes*, tienen una conducta reproductiva más sencilla que se limita al cortejo y el apareamiento, después del cual la hembra deposita sus huevos dentro del suelo sin ningún otro cuidado posterior.



106.- Dibujos que muestran las cuatro etapas más importantes durante el proceso de nidificación y desarrollo de *Copris armatus* Harold (según Halffter y Edmonds 1982).

- A) La hembra prepara la masa de estiércol de donde formará las bolas-nido.
- B) La hembra ha construido tres bolas-nido que contienen un huevo cada una.
- C) Las larvas se han desarrollado hasta el segundo estadio mientras la hembra, que permanece en ayuno, mantiene limpio el nido.
- D) Las larvas alcanzan el tercer estadio de desarrollo y la hembra continúa sus cuidados hasta que se transformen en adultos.



# Matemáticas

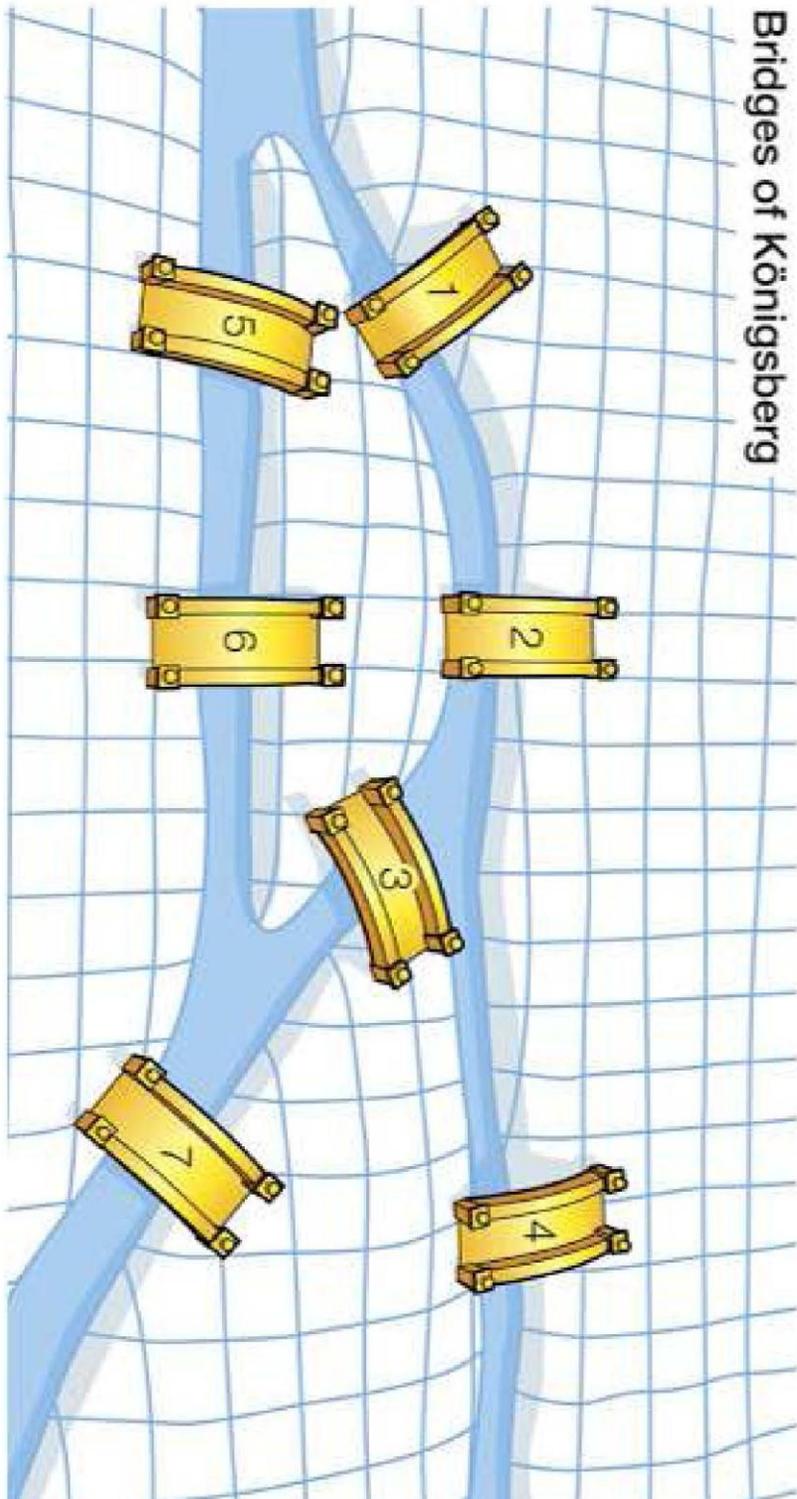
**Instructor: Dr. Gil Bor**

Centro de Investigación en Matemáticas AC (CIMAT)

Email: [gil@cimat.mx](mailto:gil@cimat.mx)

Página web: <http://personal.cimat.mx:8181/~gil/>

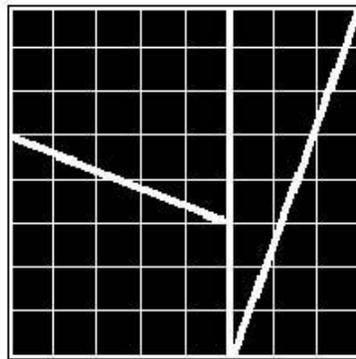
# Bridges of Königsberg



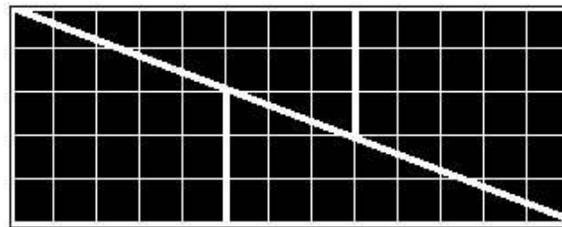
## Paradoja Geométrica

Toma un tablero de ajedrez de  $8 \times 8$  y córtalo en 4 piezas, como se muestra abajo. Luego, rearma las piezas en forma de un rectángulo con área mayor.

Aquí está el cuadrado original:

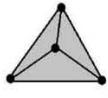


Rearmado, tenemos:

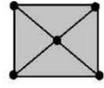


El área del cuadrado es  $8 \times 8 = 64$ , mientras que el área del rectángulo es  $13 \times 5 = 65$ . ¿Cómo es posible?

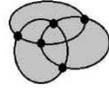
Geometría e imaginación -- Topología - la Característica de Euler



1



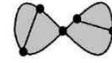
2



3



4



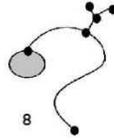
5



6



7



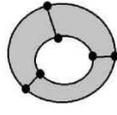
8



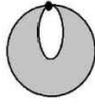
9



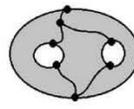
10



11



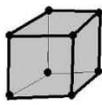
12



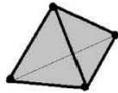
13



14



15



16



17



18



19



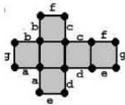
20



21



22



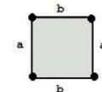
23



24



25



26



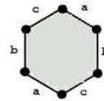
27



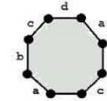
28



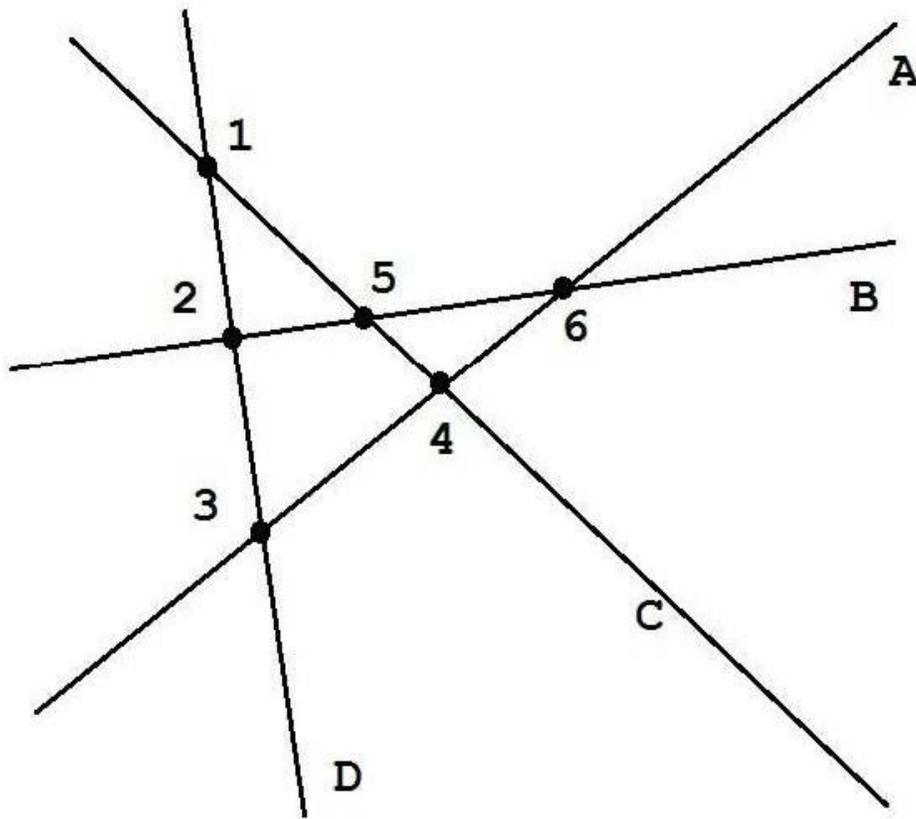
29



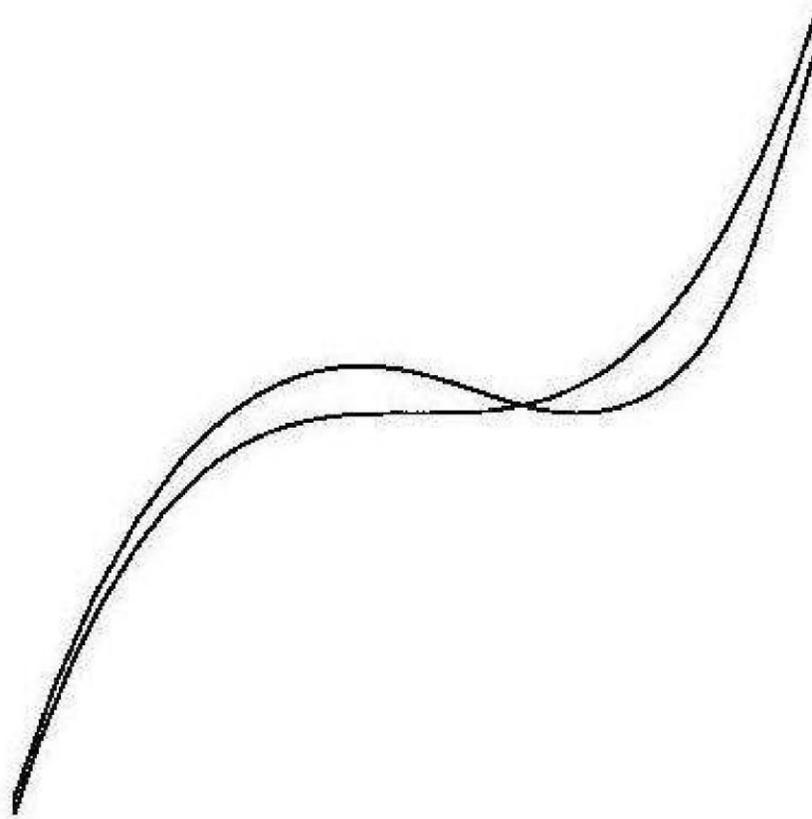
30



31



**Las 4 hormigas:**  
sobre cada recta camina una hormiga con  
velocidad constante. En 5 de las 6  
intersecciones se encontraron. Demuestra  
que también se encontraron en la sexta.



¿En qué dirección se fue la bicicleta?

# Bioquímica

Instructor: **Dr. Yuri Jorge Peña Ramírez**

El Colegio de la Frontera Sur Unidad Campeche

Email: [ypena@ecosur.mx](mailto:ypena@ecosur.mx)

Página web: <http://bdi.ecosur.mx/personal/informaciongeneral.aspx?ID=RamirezYuri>

La Bioquímica es la Ciencia que estudia las reacciones químicas que ocurren e los organismos vivos, mismas que permiten mantener funcionando el metabolismo de una célula. El metabolismo (del latín **metabole = cambio**) se refiere a todas las reacciones químicas del cuerpo. Debido a que todas esas reacciones químicas liberan o requieren energía, se puede pensar que el **metabolismo del cuerpo es un acto de balance de energía entre las reacciones anabólicas (de síntesis) y catabólicas (degradantes)**.

Como podemos ver, entonces, hay dos grandes procesos metabólicos: **anabolismo y catabolismo**

## Anabolismo

En las células vivientes, las reacciones químicas que combinan sustancias simples para formar moléculas más complejas se denominan en forma colectiva, Anabolismo (**ana = hacia arriba**). En total, es frecuente que los procesos anabólicos abarquen a los procesos de síntesis por deshidratación, y requieren de energía para formar nuevos enlaces químicos.

## Catabolismo

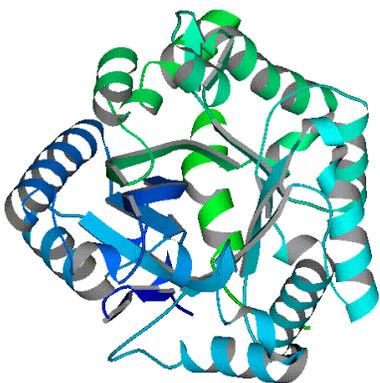
Las reacciones químicas que desdoblan compuestos complejos orgánicos en compuestos orgánicos más simples se conoce en forma selectiva como Catabolismo (**cata = hacia abajo**).

Las reacciones catabólicas por lo general son reacciones de hidrólisis que liberan la energía química disponible en moléculas orgánicas.

Un ejemplo de reacción catabólica es la “**digestión**” química en la que la ruptura de los enlaces de las moléculas alimenticias libera energía, otro ejemplo es el proceso llamado **oxidación** (respiración celular).

Mientras que casi la totalidad de las reacciones anabólicas requieren energía, las reacciones catabólicas proporcionan la energía necesaria para llevar a cabo las reacciones anabólicas.

## Metabolismo y enzimas



Las reacciones químicas se presentan cuando se crean o se rompen enlaces químicos. Para que se lleven a cabo las reacciones químicas, los iones, los átomos o moléculas deben chocar unos con otros. La efectividad de la colisión depende de la velocidad de las partículas, la calidad de la energía que se requiere para que la reacción se presente (energía de activación) y la configuración (forma) específica de las partículas.

La presión y temperatura normales del cuerpo son demasiado bajas para que las reacciones químicas se presenten a una velocidad suficientemente rápida para el mantenimiento de la vida.

Aunque el aumento en la presión, temperatura y concentración de las moléculas reactivas puede aumentar la frecuencia de las



colisiones, y también la velocidad de las reacciones químicas, con esos cambios pueden dañar o matar a las células, y, por consecuencia, al organismo.

La solución a este problema en las células vivas está en las **enzimas**. Las enzimas aceleran las reacciones químicas aumentando la frecuencia de las colisiones, disminuyendo la energía de activación y orientando de manera adecuada a las moléculas en colisión. Las células realizan esto sin necesidad de alterar la concentración, la presión o la temperatura; en otras palabras, sin dañar o matar a la célula.

Las sustancias que pueden acelerar una reacción química aumentando la frecuencia de las colisiones o disminuyendo el requerimiento de energía de activación, sin que se alteren en si mismas, se denominan catalizadores. En las células vivas, las enzimas funcionan como catalizadores biológicos.

### **Características de las enzimas**

Como **catalizadores**, las enzimas son específicas.

Cada enzima, en particular, afecta a su sustrato específico. La especificidad de las enzimas es posible debido a su estructura, que les permite unirse sólo a ciertos sustratos.

Cada enzima tiene una forma tridimensional característica con una configuración especial en su superficie.

Las enzimas son eficientes en extremo. En condiciones optimas, pueden catalizar reacciones que van de 10 a la octava a 10 a la décima (más de 10 billones de veces) más rápido que las reacciones equiparables que se presentan sin las enzimas.

En el gran número de moléculas presentes en una célula, una enzima debe encontrar el sustrato correcto, además muchas de las reacciones se generan en un ambiente acuoso y a temperaturas relativamente bajas, lo cual no favorece el movimiento rápido de las moléculas.

Por lo general, los nombres de las enzimas terminan con el sufijo *asa*, dependiendo de su función, así existen, por ejemplo; transferasas, oxidasas, hidrolasas, etc.

Algunas enzimas están formadas por completo de proteínas. Sin embargo, la mayor parte de las enzimas contienen una proteína que se llama apoenzima, que es inactiva sin un componente no proteico llamado cofactor. Juntos, la apoenzima y el cofactor forman la holoenzima activada o enzima completa. El cofactor puede ser un ión metálico.

No se conoce por completo la forma en que las enzimas disminuyen la energía de activación, sin embargo se cree que presenta la siguiente secuencia general:

- 1) La superficie del sustrato hace contacto con una región específica, sobre la superficie de la molécula de la enzima que se conoce como sitio activo.
- 2) Se forma un compuesto intermediario temporal que se llama enzima-sustrato.
- 3) La molécula del sustrato se transforma por el reacomodo de los átomos existentes, por el desdoblamiento de las moléculas del sustrato o por la combinación de varias moléculas del sustrato.
- 4) Las moléculas del sustrato transformado, que ahora se llaman productos de la reacción, se separan de la molécula de enzima.
- 5) Después de que termina la reacción, sus productos se separan de la enzima sin cambio y la enzima queda libre para unirse a otra molécula de sustrato.

### **Enzimas digestivas**

Las enzimas adoptan una estructura tridimensional que permite reconocer a los materiales específicos sobre los que pueden actuar (sustratos).



Cada una de las transformaciones, que experimentan los alimentos en nuestro sistema digestivo está asociada a un tipo específico de enzima. Estas enzimas son las llamadas enzimas digestivas.

Cada enzima actúa sobre un solo tipo de alimento, como una llave encaja en una cerradura. Además, cada tipo de enzima trabaja en unas condiciones muy concretas de acidez, como se puede ver en el cuadro de abajo.

Si no se dan estas condiciones, la enzima no puede actuar, las reacciones químicas de los procesos digestivos no se producen adecuadamente y los alimentos quedan parcialmente digeridos.

### Las enzimas y la digestión

Enzima	Actúa sobre	Proporciona	Se produce en	Condiciones para que actúe
<b>Ptialina</b>	almidones.	Mono y disacáridos	La boca (glándulas salivares)	Medio moderadamente alcalino
<b>Amilasa</b>	almidones y azúcares	Glucosa	El estómago y páncreas	Medio moderadamente ácido
<b>Pepsina</b>	proteínas	Péptidos y aminoácidos	El estómago	Medio muy ácido
<b>Lipasa</b>	grasas	Ácidos grasos y glicerina	Páncreas e intestino	Medio alcalino y previa acción de las sales biliares
<b>Lactasa</b>	lactosa de la leche	Glucosa y galactosa	Intestino (su producción disminuye con el crecimiento)	Medio ácido

El proceso normal de digestión de los alimentos, mediante la acción de las enzimas, da como resultado nutrientes elementales (aminoácidos, glucosa, ácidos grasos, etc.) que asimilamos en el intestino y son aprovechados por el organismo.

Sin embargo, cuando las enzimas no pueden actuar o su cantidad es insuficiente, se producen procesos de fermentación y putrefacción en los alimentos a medio digerir. En este caso, son los fermentos orgánicos y las bacterias intestinales las encargadas de descomponer los alimentos.

La diferencia es que en lugar de obtener exclusivamente nutrientes elementales, como en el caso de la digestión propiciada por las enzimas, se producen además una gran variedad de productos tóxicos (indol, escatol, fenol, etc.). Estas sustancias también pasan a la sangre, sobrecargando los sistemas de eliminación de tóxicos del organismo.



### Enzimas intracelulares

Otras enzimas actúan en el interior de las células, transformando los nutrientes que les llegan a través de la sangre en otras sustancias, como el ácido oxalacético o el pirúvico, que forman parte del metabolismo celular.

Las enzimas **intracelulares** también son los responsables de los procesos de degradación celular. En estos procesos se obtienen nutrientes elementales a partir de los materiales estructurales propios de las células cuando el aporte mediante la dieta se interrumpe (por ejemplo, durante el ayuno), o cuando la célula no puede utilizar los nutrientes de la sangre (por ejemplo, en la **diabetes**).

### Particularidades

Hay enzimas que necesitan la participación de otros compuestos químicos no proteicos, denominados **cofactores**, para poder actuar realmente como enzimas. Estos compuestos pueden ser: el grupo prostético, como por ejemplo el grupo hemo de la **hemoglobina**, o una coenzima, como la coenzima A o el fosfato de piridoxal. A la parte proteica sin el cofactor se le llama **apoenzima**, y al complejo enzima-cofactor **holoenzima**.

También existen enzimas que se sintetizan en forma de un precursor inactivo llamado **proenzima**. Cuando se dan las condiciones adecuadas en las que la enzima debe actuar, se segrega un segundo compuesto que activa la enzima. Por ejemplo: el tripsinógeno segregado por el páncreas activa a la tripsina en el intestino delgado, el pepsinógeno activa a la pepsina en el estómago, etc.

Las enzimas actúan generalmente sobre un sustrato específico, como la ureasa, o bien sobre un conjunto de compuestos con un grupo funcional específico, como la lipasa o las transaminasas. La parte de la enzima que "encaja" con el sustrato para activarlo es denominada **centro activo**, y es el responsable de la **especificidad** de la enzima. En algunos casos, compuestos diferentes actúan sobre el mismo sustrato provocando una misma reacción, por lo que se les llama **isoenzimas**.

*Fuente [www.profesorenlinea.cl](http://www.profesorenlinea.cl) - Querelle y Cia Ltda. - Santiago - CHILE*

Instituto de Ciencias Básicas y Preclínicas "Victoria de Girón"



## Enzimas que participan como barreras fisiológicas para eliminar los radicales libres: II. Catalasa

*Dra. Ela M. Céspedes Miranda, Dra. Ingrid Hernández Lantigua y Dra. Niurka Llópiz Janer*

### RESUMEN

Las especies reactivas del oxígeno están implicadas en el daño celular. Sin embargo, en el organismo existe un sistema de protección formado por compuestos y enzimas antioxidantes que participan en las transformaciones de dichas especies. La catalasa es una de las enzimas involucradas en la destrucción del peróxido de hidrógeno generado durante el metabolismo celular. Sus características estructurales, así como su papel en algunas situaciones fisiopatológicas se tratan en el presente artículo.

*Palabras clave:* RADICALES LIBRES; CATALASA/química; ESPECIES DE OXIGENO REACTIVO.

### INTRODUCCION

Durante los procesos biológicos y en el constante intercambio con el medio, se generan especies químicas conocidas como radicales libres, que se caracterizan por presentar un electrón desapareado y por ser muy reactivas. De todos los radicales resultan de gran interés las especies reactivas derivadas del oxígeno (EROS) debido a la estructura birradicálica de esta molécula y al gran número de procesos que las generan y en los que pueden verse involucradas.

Las principales EROS son: el anión superóxido ( $O_2^-$ ), el radical hidroxilo ( $OH^\cdot$ ), el oxígeno singlete y el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ). Estas especies radicálicas están implicadas en el daño celular de forma tal que las agresiones oxidantes pueden dirigirse hacia la carcinogénesis, enfermedades inflamatorias, senectud celular y enfermedades neurodegenerativas, entre otros procesos patológicos.<sup>1</sup>

En el organismo existe un sistema de protección antioxidante formado por enzimas y compuestos de bajo peso molecular. Una de las enzimas que interviene en la protección y, en consecuencia, en el mantenimiento del balance oxidante/antioxidante es la catalasa (CAT).

### CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES

La catalasa (peróxido de hidrógeno: peróxido de hidrógeno oxidorreductasa, EC 1.11.1.6) es una de las enzimas más abundantes en la naturaleza y se encuentra ampliamente distribuida en el organismo humano, aunque su actividad varía en dependencia del tejido; ésta resulta más elevada en el hígado y los riñones, más baja en el tejido conectivo y los epitelios, y prácticamente nula en el tejido nervioso. A nivel celular se localiza en las mitocondrias y los peroxisomas, excepto en los eritrocitos, donde se encuentra en el citosol.<sup>2</sup> Esta enzima es una metaloproteína tetramérica, cuyo peso molecular se encuentra en el rango de 210-280 kD. Consta de 4 subunidades idénticas que se mantienen unidas por interacciones no covalentes. Cada subunidad contiene un grupo prostético de protoporfirina IX y el contenido



protohémico y el de hierro representan un 1,1 % y 0,09 % respectivamente del peso molecular total de la enzima.<sup>3</sup>

En algunas especies la CAT contiene moléculas de nicotinamín adenín dinucleótido fosfatado en su forma reducida (NADPH) ligadas estrechamente a la enzima; así se ha demostrado que la CAT humana y la de res están ligadas a 4 moléculas de NADPH, 1 en cada subunidad y que no existe interacción directa entre el grupo hemo y el NADPH.<sup>4</sup> En la figura aparece la representación de una subunidad de la enzima.

El NADPH unido a la enzima no está involucrado en su actividad catalítica o peroxidativa. Esta molécula puede intervenir en la prevención y reversión parcial de la inactivación de la CAT por su propio sustrato tóxico y estabiliza a la enzima por tener un efecto alostérico sobre su conformación. Además, la CAT constituye un reservorio de NADPH, lo cual juega un importante papel durante el estrés oxidativo.<sup>5</sup>

#### FUNCION ENZIMATICA

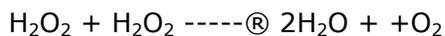
La CAT como parte del sistema antioxidante está involucrada en la destrucción del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> generado durante el metabolismo celular. Esta enzima se caracteriza por su alta capacidad de reacción pero relativamente poca afinidad por el sustrato. Presenta 2 funciones: la catalítica y la peroxidativa. Ambas se pueden representar por la ecuación:



sustrato donador CAT

La reacción general entraña la reducción del sustrato tomando los átomos de hidrógeno aportados por el donador, y los productos finales serían el sustrato reducido y el donador oxidado.

En la función catalítica, el donador es otra molécula de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Esta función sólo puede ser realizada por la enzima en su forma tetramérica.<sup>6</sup>



En la reacción peroxidativa la enzima puede utilizar como donadores de hidrógeno al metanol, etanol, ácido fórmico, fenol y formaldehído.<sup>7</sup> Esta función se puede realizar con monómeros, dímeros y tetrameros.<sup>6</sup>

La actividad de la CAT puede ser inhibida por el cianuro, la azida, el sulfuro, la hidroxilamina, el paracetamol, la bleomicina, la adriamicina, la benzidina y el paraquat.<sup>2</sup>

#### IMPORTANCIA BIOMEDICA DE LA CATALASA

La CAT ha sido ampliamente estudiada en relación con su participación en numerosos procesos patológicos de gran importancia en las investigaciones biomédicas, y está involucrada tanto en la génesis como en las consecuencias de dichos procesos.



En modelos animales y humanos de *isquemia-reperfusión* se ha comprobado la participación de las EROS en la producción de los daños que aparecen durante este proceso, así como la modificación de las enzimas antioxidantes, entre las que se encuentra la CAT, y se ha observado que estas modificaciones no se comportan de igual forma en todos los tejidos.

En estudios realizados en riñón, la reperfusión que siguió al daño isquémico provocó una pérdida de proteínas de la matriz de los peroxisomas, con drástico compromiso de las funciones de éstos y descenso significativo de la actividad de CAT. La disminución de la actividad durante la isquemia se debe a la formación de un complejo inactivo, mientras que durante la reperfusión hay inactivación, proteólisis o disminución de la síntesis de la enzima.<sup>8</sup>

En pacientes con insuficiencia renal crónica, principalmente en aquéllos que recibieron tratamiento con diálisis peritoneal y hemodiálisis, se encontró una disminución de las enzimas antioxidantes, entre ellas la CAT, a nivel eritrocitario. Esta disminución pudiera ser uno de los factores que propician la hemólisis debido a la peroxidación lipídica en la membrana celular de los eritrocitos.<sup>9</sup>

El desarrollo de lesiones hemorrágicas en la mucosa intestinal es causado por radicales de oxígeno y la activación de la fosfolipasa A<sub>2</sub>. Enzimas antioxidantes como la CAT y las superóxido dismutasas (SOD), así como inhibidores de la fosfolipasa A<sub>2</sub> pueden prevenir los daños causados por la reperfusión intestinal, siempre que el tratamiento se aplique durante la isquemia, pero antes de la reperfusión.<sup>10</sup> Se ha encontrado también una relación causal entre la generación de radicales libres y el daño isquémico de la retina y se comprobó la protección que brindan las SOD y la CAT, las que se recomiendan como posible tratamiento.<sup>11</sup>

La reperfusión es, sin duda, la forma más efectiva para tratar la isquemia del miocardio, sin embargo, puede causar profundos daños tisulares. La producción miocárdica de EROS que sobrepasa la capacidad neutralizadora de los miocitos es una causa importante de este daño. Hay evidencias de que la isquemia prolongada reduce los mecanismos de defensa contra estas especies reactivas.<sup>12</sup> El pretratamiento con derivados no tóxicos de endotoxinas induce la protección contra el daño y aumenta la actividad de la CAT.<sup>13</sup>

La administración de SOD y CAT reduce la incidencia de depresión de la función contráctil en modelos experimentales, y puede limitar la necrosis si se utilizan en el momento de la reperfusión.<sup>14</sup>

Estudios recientes muestran que la CAT y las SOD, administradas de forma independiente durante la reperfusión cardíaca, reducen significativamente la producción de EROS, pero fallan ante la producción de arritmias ventriculares inducidas por la reperfusión. Ambos efectos pueden eliminarse cuando las 2 enzimas se aplican juntas.<sup>15</sup>

La acción de la CAT puede suprimir el incremento de CA<sup>++</sup> intracelular que se produce a través del aumento del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> provocado por el daño isquémico a nivel miocárdico.<sup>16</sup>

Durante los trasplantes cardíacos tiene lugar una isquemia prolongada seguida de reperfusión con sangre oxigenada, produciéndose un aumento en los niveles de las



EROS, lo que trae como consecuencia un desacoplamiento de los procesos de contracción- -excitación a nivel del sarcolema. La CAT y las SOD pueden preservar la función del metabolismo miocárdico durante el trasplante.<sup>17</sup>

Se ha encontrado que después de *quemaduras* severas existe un incremento del catabolismo proteico con la consiguiente disfunción hepática, lo cual puede reducirse administrando enzimas antioxidantes como la CAT.<sup>18</sup>

En *afecciones respiratorias* como el síndrome de *distress* respiratorio en adultos, inducido por EROS, se ha encontrado aumento en la actividad de la CAT.<sup>19</sup> En modelos experimentales de inducción de edema pulmonar con aloxano se observó que este compuesto produce daños a nivel endotelial y aumento en los niveles plasmáticos de tromboxano B2 y 6-cetoprostaglandina F1. La CAT previene el aumento de estos compuestos y la acumulación de agua extravascular, reduciendo el daño endotelial y con ello el edema pulmonar.<sup>20</sup>

Numerosos estudios han relacionado la *infertilidad masculina* con una disminución de la motilidad de los espermatozoides, lo que parece estar causado por un aumento de especies reactivas, sobre todo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Este puede ser reducido por acción de la CAT, lo cual se propone como posible tratamiento en estos casos.<sup>21</sup>

Se han realizado estudios que plantean la inducción de proteínas del *shock* térmico (HSP) como responsables de *enfermedades neurodegenerativas* como la enfermedad de Alzheimer. La síntesis de HSP es inducida por las EROS y se observa que una exposición a éstas en presencia de enzimas antioxidantes como la CAT y las SOD mejora la supervivencia de las células y disminuye la inducción de HSP.<sup>22</sup>

En el tratamiento de pacientes afectados por estas enfermedades neurodegenerativas se utiliza la droga (-) deprenil, que aumenta selectivamente la actividad enzimática de la CAT y las SOD a nivel del cuerpo estriado.<sup>23</sup>

En relación con las *afecciones tumorales* se ha encontrado en pacientes con tumores del tracto gastrointestinal un aumento de la actividad de CAT en los estadios iniciales del proceso. Esta actividad disminuía y llegaba a ser mínima en estadios de metástasis diseminada y caquexia.<sup>24</sup>

Otros estudios con modelos experimentales han mostrado el importante papel que juegan las EROS en la invasión tumoral y las metástasis y se ha observado que la administración de CAT podía inhibir la formación de metástasis.<sup>25</sup>

La actividad de las enzimas con propiedades antioxidantes también ha sido estudiada en modelos experimentales animales de enfermedades meta-bólicas como la diabetes mellitus donde se han encontrado disminuidas las SOD y la CAT, disminución que podía ser prevenida por la administración de insulina.<sup>26</sup>

Estos hallazgos permiten considerar que la participación de los sistemas antioxidantes en el mantenimiento del balance oxidante/antioxidante constituye un elemento esencial para el control de numerosos procesos biológicos cuyas alteraciones pueden originar o ser consecuencia de trastornos somáticos en un individuo.

## SUMMARY



Oxygen's reactive species are involved in cellular damage; however, in the organism there is a protection system composed of compounds and antioxidant enzymes that participate in the transformations of such species. The catalase is one of the enzymes involved in the destruction of hydrogen peroxide, generated during cellular metabolism. Its structural characteristics as well as its role in some physiopathologic situations are dealt with in the present article.

*Key words:* **FREE RADICALS; CATALASE/chemistry; REACTIVE OXYGEN SPECIES.**

## “YA NO HAY ÁRBOLES NI AGUA”. PERSPECTIVAS DE LOS CAMBIOS AMBIENTALES EN COMUNIDADES DE ZINACANTÁN, CHIAPAS

Gerda Ursula Seidl, Helda Morales, Luis Alfredo Arriola Vega,  
Angélica Aremy Evangelista García

**Resumen:** El artículo se basa en un trabajo empírico en donde se indaga sobre perspectivas de los cambios ambientales entre hombres y mujeres, ancianos, adultos y jóvenes en cuatro localidades del municipio de Zinacantán, en Los Altos de Chiapas. Para el trabajo de campo se emplearon métodos cualitativos, sobre todo entrevistas semiestructuradas y talleres. Los entrevistados identificaron como problemas principales el cambio productivo, la degradación y disminución de bosques y agua, el cambio en la alimentación, problemas con el clima y con la contaminación por desechos. Hay diferencias entre los parajes, debido a su situación económica y ambiental desigual. Existen además discrepancias entre los géneros y generaciones en la identificación de los cambios ambientales. Las diferencias encontradas indican que no hay homogeneidad dentro de un mismo grupo cultural y que es importante distinguir entre géneros, generaciones y demás variables, si se quiere llegar a un diseño adecuado de programas y proyectos.

**Palabras clave:** Perspectivas ambientales, percepciones ambientales, género y medio ambiente, cambios ambientales.

Enviado a dictamen: 04 de abril de 2011  
Aprobación: 25 de mayo de 2011  
Revisiones: 2

Gerda Ursula Seidl. Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural en El Colegio de la Frontera Sur, México, línea de investigación: Género y Medio Ambiente, Sociedad y Ambiente. Correo electrónico: gerdisseidl@yahoo.com.

Helda Morales. Doctora en Manejo de Recursos Naturales, línea de investigación: Agroecología, Manejo sustentable de los recursos naturales. Correo electrónico: hmorales@ecosur.mx.

Luis Alfredo Arriola Vega. Doctor en Antropología por El Colegio de la Frontera Sur, Sede Campeche, línea de investigación: Migraciones en la frontera sur de México. Correo electrónico: laarriola@ecosur.mx.

Angélica Aremy Evangelista García. Doctora en Ciencias Sociales y Humanidades por el Centro de Estudios Superiores de México y Centroamérica (CESMECA), línea de investigación: Género, Jóvenes, Salud sexual y reproductiva. Correo electrónico: aeangel@ecosur.mx.

**Abstract:** This article is based on empirical work comparing perspectives on environmental changes between men and women, elderly, adult and young people in 4 communities in the highlands of Chiapas. Qualitative methods were used for fieldwork, especially semi-structured interviews and workshops. The participants identified as the most urgent problems declining productivity, the degradation of forests and water, nutrition, climate change and garbage. Differences among the communities stem from their unequal economic and environmental situation. There were also gender differences and differences among generations. The results indicate that there is no homogeneity within cultural groups, and that it is important to consider differences among genders, generations and other groupings when designing programs and projects.

**Keywords:** Environmental perspectives, environmental perceptions, gender and environment, environmental changes.

### Introducción

Muchas veces, las políticas ambientales o intervenciones de organismos gubernamentales y no gubernamentales quedan sin tomar en cuenta la visión de las personas sobre su ambiente y los cambios que están ocurriendo en él. En consecuencia, proyectos diseñados con las mejores intenciones fracasan o son de poco o ningún beneficio para las personas. Por lo tanto, para una toma

de decisiones adecuada es de suma importancia conocer las valoraciones y opiniones de la gente local.

Existen varios estudios en México sobre la visión que las personas tienen del ambiente, generalmente con el concepto de percepciones ambientales (por ejemplo, Arizpe, 1993; Benez 2008; Chávez Ballado, 2007). Dichos estudios encuentran una gama amplia de puntos de vista, sentimientos y opiniones en la población, que van “de extremo a extremo” (Lazos y Paré, 2005: 108). Durand (2008: 82) sugiere acercarse al fenómeno de la visión y vivencia del ambiente con el concepto perspectivas ambientales, ya que éste puede dar cuenta de la diversidad de visiones existentes en grupos supuestamente homogéneos, y vincular el nivel de la experiencia directa —percepción— con el de la interpretación. Es dicho nexo el que imprime/otorga su característica distintiva a este paradigma. Por ello, desde este enfoque el presente trabajo se propone indagar cómo personas de cuatro comunidades del municipio de Zinacantán, en Los Altos de Chiapas, perciben e interpretan los cambios ambientales para conocer cuáles son cambios prioritarios y problemáticos para ellos.

Los estudios sobre percepciones ambientales comúnmente no hacen énfasis en la cuestión de los cambios de este tipo. Sin embargo, en todos los estudios que utilizan esta perspectiva el cambio ambiental es algo subyacente, ya que el estado actual, sobre el cual los sujetos se expresan, siempre es resultado de cambios continuos. De hecho, el cambio es algo normal e inherente a cada ambiente, ya que si asumimos que el ambiente es producto de actividades o eventos pasados tenemos que comparar el ambiente no tanto como un contenedor de objetos sino como una escultura en obra continua, nunca terminada y trabajada por muchas manos (le debemos esta metáfora a Ingold, 1997: 50).

### El lugar de estudio

Este estudio se llevó a cabo en el municipio de Zinacantán, en Los Altos de Chiapas (ver Figura 1). Es

uno de los municipios chiapanecos con población casi exclusivamente indígena, mayoritariamente tsotsiles, en donde existe un desarrollo relativamente fuerte pero desigual en términos económicos y de infraestructura, debido a una conversión productiva en los últimos treinta años, aproximadamente. Esta conversión, descrita por Collier (1992) y Collier, Mountjoy y Nigh (1994), consiste sobre todo en el cambio de cultivo de milpa —para subsistencia y para venta— al trabajo remunerado en construcción y servicios. Además en los parajes grandes y en varios pequeños de la parte noreste del municipio cobró importancia el cultivo de flores bajo invernadero, que se volvió la primera fuente de ingresos en estas localidades desde la década de 1990. Aunque la superficie destinada a floricultura es relativamente pequeña, supera los ingresos generados por los demás productos: en 2002, 53.41% del valor de la producción agrícola provenía de las flores, mientras que el maíz —93.02% de la superficie sembrada— solo aportaba 32.94% (Anuario Estadístico de Chiapas, 2002).

Debido, en parte, a este cambio productivo, a la poca planeación y a la falta de servicios, hay una escasez y contaminación notable de los recursos naturales, como suelos y agua, acompañado de una deforestación acelerada (Burguete, 2000). Esto ha llevado a conflictos fuertes entre diferentes grupos —ya sea por su afiliación política o por su adscripción religiosa— debido al recurso agua que escasea cada vez más, y por otros recursos como bosques, terrenos e incluso por ciertos servicios, como la recolección de basura (Burguete, 2000; Rincón García, 2007). En las últimas décadas ocurrió un notable crecimiento poblacional que influye en las transformaciones del ambiente. Hacia 1920 vivían 1,500 personas en el municipio, cifra que ascendió a 13,006 personas para 1980; el último censo de 2010 registró 36,489 personas en Zinacantán (INEGI, 2010).

Zinacantán se caracteriza por una relativa heterogeneidad de actividades económicas que llevan a cabo sus pobladores y por sus condiciones ambientales. Hay una gran diferencia en estilos de vida, de consumo

y fuentes de ingreso, entre los poblados semiurbanos y las comunidades más pequeñas. También existen diferencias en los poblados en lo que respecta a la disponibilidad y calidad de agua, el tipo de viviendas, la disponibilidad de leña u otro combustible y la contaminación por basura, aspectos que influyen en la construcción de distintas perspectivas ambientales y en los problemas que enfrentan las comunidades.

En el Cuadro 1 se presentan las principales diferencias y similitudes entre los lugares en donde se hizo este estudio. Zinacantán cabecera tiene 3,876 habitantes y Nachig 3,260; mientras que en Jech ch’entik y Elambo Bajo viven 892 y 629 personas, respectivamente. Las comunidades semiurbanas<sup>1</sup> estudiadas cuentan con servicios de agua entubada, drenaje y de recolección de basura, mientras que las comunidades rurales no tienen acceso a ello. También la actividad económica principal varía: mientras que en la cabecera y en parajes aledaños predominan la floricultura y el trabajo en servicios, en algunas de las comunidades más rurales hay una mezcla entre floricultura, cultivo de milpa, hortaliza y frutales, y de trabajo foráneo en construcción y servicios, aunque en menor grado. En todas las comunidades se elaboran artesanías textiles, trabajo exclusivo de mujeres y niñas.

La cosmovisión tradicional católica aún sigue fuertemente enraizada en la mayoría de los zinacantecos. Pero, por cambios culturales de índole religioso o generacional, esta cosmovisión se va transformando más y más. Las diferentes visiones que tienen las personas a menudo resultan en conflictos sobre los recursos naturales protagonizados en la esfera pública principalmente por personas de distintas filiaciones religiosas o políticas. Por estar inmersos en un mundo diferente al de sus antepasados, y por la educación formal que desvaloriza dicha cosmovisión, este desdibujamiento de la cosmovisión tradicional zinacanteca está ocurriendo también entre los jóvenes.

### La lente teórica: perspectivas ambientales

Si lo que interesa es la forma de entender la naturaleza, Leticia Durand (2008) sugiere abandonar el término de percepciones ambientales y sustituirlo por el de perspectivas ambientales, que incluye percepción e interpretación. Según esta propuesta, los humanos no habitamos un mundo culturalmente construido en su totalidad, sino también una sociedad y una cultura naturalmente construida, o sea que naturaleza y cultura se influyen y “construyen” mutuamente.

La autora sugiere el concepto de perspectivas ambientales, que define como “el conjunto de normas, supuestos y valores que resultan de la vivencia del entorno natural y permiten comprenderlo y explicarlo” (Durand, 2008: 82). Las acciones y vivencias individuales forman parte de la experiencia de los individuos y “son de suma importancia en la conformación de las percepciones sobre la naturaleza” (Durand, 2008: 82). La vivencia con el entorno natural corresponde a la percepción, mientras que el conjunto de normas, supuestos y valores, así como la comprensión y explicación, corresponden a la interpretación. Sin embargo, es muy difícil separar empíricamente los dos componentes, ya que la percepción y la interpretación de lo percibido están íntimamente relacionadas.

Tanto para Leticia Durand como para Tim Ingold percepción es acción. Los autores se refieren aquí al concepto de *affordances* —oportunidades ambientales— que viene originalmente de la psicología ecológica —J. Gibson, en los años 60—, y asevera que “lo que percibimos está en función directa a la forma en la que actuamos, y percibimos aquello que los objetos nos ofrecen en el contexto de la acción en la que nos encontramos” (Durand cita a Ingold, 2008: 80). Este aspecto se vuelve importante cuando se tratan de explicar las diferencias encontradas en un mismo grupo cultural. ¿Por qué las personas de Elambo tienen otras perspectivas sobre el ambiente que las personas de Zinacantán cabecera, por ejemplo? O ¿por qué las

mujeres enfatizan problemas ambientales distintos a los de los hombres? Más adelante veremos que la explicación está estrechamente relacionada con el hecho de que las interacciones con el ambiente son diferenciadas y, por ende, las perspectivas resultan desiguales.

### Hacia una definición de ambiente

En el presente estudio nos enfocamos en el ambiente biofísico —natural y construido— de las personas en Zinacantán. Para el ambiente biofísico, retomamos la definición de ambiente que usa Pamela Hartigan: “El ambiente biofísico incluye el ‘espacio vital’ natural y el construido —o ‘edificado’— donde los hombres y las mujeres llevan a cabo sus actividades. Incluye elementos naturales y edificados, como árboles, fuentes de agua, mosquitos, casas, chimeneas, fábricas y calles (...)” (Hartigan, 1998: 7).

Tim Ingold resalta cómo un aspecto importante en el ambiente es la encarnación de actividades pasadas: “La historia de un ambiente es la historia de todas las actividades de todos los organismos, humanos o no, contemporáneos o ancestrales, que han contribuido a su formación” (Ingold, 1997: 50). Esta definición de ambiente encuentra su eco en la concepción de los zinacantecos cuando hablan de su ambiente como “la tierra de nuestros ancestros” —*balamil jtotik jme'tik*—, tierra que tiene historia, de la cual además se derivan ciertas normas para su manejo y manipulación futura.

El concepto ambiente no tiene un referente directo en la cosmovisión tsotsil, y carece de traducción. Según nuestros informantes, “ambiente” sería la traducción de algo como “*balamil*” —la tierra—, “*ch'iel kuxlejaltik*” —nuestra vida que hay—, o “*bolometik jabnaletik*” —los animales y árboles—. Inclusive el concepto de naturaleza tampoco tiene equivalente directo en tsotsil. En el trabajo de campo se usó el concepto ambiente en este sentido amplio, y se tradujo, dependiendo

del contexto o el enunciado particular en el que fue utilizado, como “tierra”, “vida”, “animales y árboles”.

### Cambios ambientales

Para los propósitos de esta investigación se definen como cambios ambientales todos los procesos de transformaciones, deterioros o mejoras, que han sido identificados por los sujetos en su ambiente natural y construido; se refiere sobre todo a la dimensión vital, directa, inmediata de los sujetos, a los espacios que ellos y ellas cotidianamente usan, construyen, conocen y significan, pero también a transformaciones que identificaron y expresaron en el ambiente humano.

Para poder recabar la visión tanto de ancianos como de jóvenes, no se restringió la escala temporal a propósito, sino se dejó que ésta dependiera de cada sujeto. Si preguntamos a una persona anciana de 70 años, por ejemplo, sobre cómo ha cambiado su comunidad desde que era niña o niño, el periodo probable para el cual relata cambios es de 60 a 65 años, mientras que una persona joven de 20 años probablemente platicará de cambios ocurridos en los últimos 15 años.

### Género y medio ambiente

Para indagar las opiniones y valoraciones de hombres y mujeres frente al ambiente, utilizamos una perspectiva de género, ya que hombres y mujeres muchas veces “tienen intereses completamente distintos en el cambio ambiental, en general, y en las políticas específicas de intervención del manejo de recursos naturales, en particular” (Joekes, 2004: 496). En este sentido, el enfoque de género permite “visibilizar lo que normalmente no es visible” (Tuñón, 2000), o sea los intereses, visiones y estrategias posiblemente diferenciadas entre hombres y mujeres. Varios estudios empíricos, desde diferentes enfoques, señalan una estrecha vinculación entre los factores género y medio ambiente (Martínez, 2000;

Vázquez, 2003; Joekes, 2004). Se pueden identificar tres corrientes teórico conceptuales que tratan de entender la relación de las mujeres y los hombres con la naturaleza. Estas tres corrientes son: el Ecofeminismo, Mujeres y Medio Ambiente, y Género y Medio Ambiente (Rivera, 1998; Vázquez y Velásquez, 2004). Aunque no nos adscribimos de manera pura a ninguna de estas corrientes, utilizamos partes de ellas porque nos permiten explicar las diferencias de perspectivas existentes entre hombres y mujeres.

### Metodología de la investigación

Para el trabajo de campo se usaron herramientas etnográficas como la observación participante, pláticas informales, entrevistas semiestructuradas y talleres con grupos de mujeres y hombres zinacantecos de diferentes edades. El punto de llegada fue el grupo de señoras Mujeres Sembrando la Vida, que se organizaba alrededor del microcrédito y con las cuales una de las autoras tenía relaciones laborales previas. De allí se fueron extendiendo los contactos hacia sus hijos, hijas, esposos, y hacia un grupo de estudiantes de preparatoria.

Fueron entrevistadas 16 personas: 9 mujeres y 7 hombres. Después de las entrevistas se realizaron 9 talleres con un total de 117 personas participantes —103 mujeres y 14 hombres—. Somos conscientes de que el número desigual entre mujeres y hombres puede provocar un sesgo en los resultados. En los Cuadros 2 y 3 se especifica el número de participantes, la localidad de donde provienen y su edad.

En las entrevistas se indagó sobre los cambios ambientales prioritarios para los pobladores. Explorando las dimensiones temporales “antes-ahora-después”, se les pidió a los informantes un relato histórico enfocado en su ambiente biofísico. A partir de un primer análisis de las entrevistas, se identificaron cuatro temas clave que fueron mencionados repetidamente o con especial énfasis.

1. La problemática productiva, especialmente el cambio de milpa a floricultura, y la pérdida de productividad de la milpa.
2. La escasez y contaminación del agua.
3. La deforestación o empobrecimiento de los bosques.
4. La contaminación por desechos sólidos —basura.

Muchas de las personas que participaron en el estudio no sabían leer ni escribir y eran monolingües, especialmente las mujeres adultas, y hombres y mujeres ancianas. Todas y todos son hablantes de tsotsil. En el trabajo con personas analfabetas o personas que están poco acostumbradas a textos escritos ha resultado muy provechoso trabajar en grupos y usar “códigos” visuales como provocadores de participación, diálogo, análisis y autodiagnóstico. Por eso usamos en los talleres una metodología que viene de la Educación Transformadora, una vertiente de la Educación Popular que fue desarrollada en África por Anne Hope, Sally Timmel, y otros integrantes del Training for Transformation Institute (Hope y Timmel, 1995).

Para los cuatro temas mencionados arriba se elaboraron pares de fotografías que representaban los cambios ambientales, mismos que fueron utilizados como códigos visuales en los talleres. Por ejemplo, para la deforestación se buscó una fotografía con un bosque de pino encino típico de Los Altos, y se colocó junto a una fotografía con un paisaje deforestado. Después de mostrar las imágenes inició una discusión abierta, no obstante guiada, entre los y las participantes. Esta metodología resultó muy llamativa y propició la colaboración vivida de las personas que participaron en el estudio.

Los talleres, así como las entrevistas, fueron audiograbados, transcritos y, en el caso de las entrevistas y talleres en tsotsil, traducidos. Se llevaron a cabo cinco talleres y seis entrevistas en tsotsil. Después de la transcripción se procedió al análisis de los datos, identificando categorías de análisis y comparando los datos encontrados entre hombres, mujeres, jóvenes,

adultos, ancianos, y entre las personas de diferentes comunidades.

### Hallazgos: Los principales cambios ambientales

Además de la problemática productiva, la escasez y contaminación del agua, la deforestación y la basura, la mayoría de los participantes señalaron repetidamente problemas relacionados con cambios meteorológicos; por ejemplo, menos lluvia y temperaturas más extremas, así como cambios en la alimentación, enfermedades, y los cambios en la imagen urbana, que se refiere a calles, caminos y casas. En el Cuadro 4 se muestra de manera resumida lo que los participantes mencionaron como cambios ambientales, y sí fueron identificados mayoritariamente como un problema o conflicto o, por el contrario, como una ventaja o un cambio positivo. También se señalaron algunas causas y efectos que ocasionaron los cambios.

Debido a limitaciones de espacio, el presente artículo se ciñe a los hallazgos concernientes a cambios en las estrategias productivas, así como al agua, los bosques, y la contaminación por desechos —basura—. Finalmente, procederemos a describir las diferencias encontradas entre parajes, géneros y generaciones.

### Cambios en las estrategias productivas

El cultivo de milpa en Zinacantán disminuyó considerablemente debido a una serie de transformaciones económicas (Collier, 1992) a partir de mediados de la década de 1970. Primero, el cultivo de maíz disminuyó en las tierras bajas e incrementó en las tierras altas.<sup>1</sup> Segundo, se generalizó el empleo de agroquímicos y se disminuyó la mano de obra implicada. Las maneras de cómo trabajar la milpa han cambiado radicalmente, y en general el cultivo del maíz ya no tiene la importancia económica central que solía tener. Sin embargo, en las comunidades donde no hay alternativas de empleo —trabajo en servicios o floricultura— la

producción de maíz sigue siendo muy importante, y allí los entrevistados y participantes masculinos expresaron su preocupación por la disminución de rendimientos y por los altos costos de producción.

El problema que tenemos es que ponemos líquido y fertilizante, y si no lo ponemos no da la milpa. Nuestra milpa ya no es tan grande y bonita. (Manuel Jiménez, 47 años, Elambo Bajo).

Pero aun con la fertilización química, los rendimientos son muy bajos, porque “la tierra ya no da” (Pedro X., 27 años, Elambo Bajo).

Para algunas mujeres entrevistadas, el problema con la fertilización química no solamente consiste en el precio inaccesible y el agotamiento de tierras, sino que también hay repercusiones para la salud humana:

La gente de ahora utiliza puro fertilizante en cualquier cosecha, por causa de todo esto existe tanta enfermedad, hay mucha enfermedad, decimos que estamos enfermos y nosotros mismos lo buscamos (Participante en un taller en Nachig).

Como problemas en cuanto a la milpa, tanto hombres como mujeres mencionaron cambios climáticos, especialmente lluvias más tardías y menos regulares:

¿Cómo vamos a sembrar maíz, cómo vamos a sembrar las cosas, si ya no hay lluvia? (...) Antes llovía más fuerte, y daba más seguido. Ahora en medios de mayo empieza a llover (María Hernández, 40 años, Zinacantán).

A partir de la década de 1980, ocurrió una nueva transformación al extenderse la floricultura en detrimento del cultivo de la milpa. En la micro región florícola, que abarca entre otros lugares Zinacantán y Nachig (Díaz-Coutino, 1998), hubo una expansión fuerte de la floricultura bajo invernadero. Este sistema

de producción es intensivo en el uso de agua y en el empleo de agroquímicos.

En el presente la floricultura provee de ingresos monetarios a muchas familias de Zinacantán. Existen perspectivas contrarias acerca de la floricultura. Por un lado están las personas cercanas a esta actividad, quienes tienen —como no es de sorprender— posturas más bien favorables:

La razón de los invernaderos es que aquí sembrando maíz no nos da para comprar grandes cosas, simplemente nos da para alimentarnos, para un sustento de la familia, pues. En cambio con estos invernaderos allí se producen cantidades, y a poco tiempo. El maíz, creo que es seis meses o más que necesita, en cambio en el invernadero pones y en tres meses ya estamos cosechando. Y hay más entrada de dinero. Por lo mismo estamos cambiando a veces el maíz por flores (Margarita, 26 años, hija de floricultor, Zinacantán).

Si bien no son ajenos, tampoco identifican como muy graves los problemas para la salud humana y para el ambiente causados por la floricultura: “No uso guantes ni cubrebocas. Yo nunca me he enfermado, pero sí he escuchado de personas que les salen ronchas en la piel” (Julio, 23 años, Zinacantán).

Por otro lado, las personas que no dependen de la floricultura subrayan más los efectos negativos que este cambio ha generado, sobre todo la contaminación por agroquímicos:

Tanto fumigar, tantas insecticidas, eso es lo que hace mal. A veces con el olor de insecticidas que están fumigando, hasta dolor de cabeza da. Hasta mareos da. Porque hay unos invernaderos que están muy cerca. A veces está uno comiendo algo, alguna fruta, y ya llega el olor, ya se siente bien feo. Allí a veces nos podemos enfermar, porque olemos el olor, estamos respirando ya olores, (María Hernández,

40 años, vive en la orilla de Zinacantán donde hay muchos invernaderos).

Hay tres consecuencias negativas que los colaboradores de Zinacantán, no floricultores, perciben. La primera es la contaminación por agroquímicos. Una segunda consecuencia es que “los invernaderos acaban con el bosque”, porque por un lado se necesita madera para la construcción de invernaderos y por otro lado los invernaderos están empujando el límite del bosque más afuera de la comunidad y arriba hacia las montañas circundantes. Una tercera consecuencia es el uso de gran cantidad de agua, en claro contraste con la escasez del vital líquido para el consumo humano.

Los cambios en el cultivo de la milpa y, especialmente, la pérdida de fertilidad de suelos y los altos costos de producción, fueron referidos por los hombres en Elambo, Nachig y Jech ch’entik, mientras que el cambio de milpa hacia la floricultura fue mencionado por ambos sexos en Nachig y Zinacantán cabecera. Fue en esta última localidad en donde hubo una crítica masiva de mujeres hacia el empleo de agroquímicos y el uso del agua por los floricultores.

### Cambios en torno al agua

La situación en cuanto al acceso al agua que enfrentan los habitantes de los cuatro poblados es bastante diferente en términos de cantidad y calidad. De esta situación dependen las perspectivas de los lugareños en relación con el líquido vital. Clave en el tema del agua es el abasto y acceso, o sea la manera de cómo las personas se pueden proveer de este bien indispensable.

Mientras que Elambo, una comunidad alejada y marginada, tiene agua entubada desde la década de 1970 y lo celebra todavía como una gran ventaja —aunque ahora ya no es suficiente—, la gente de Jech ch’entik todavía no cuenta con agua entubada y pocos tienen la posibilidad financiera de comprar agua en pipa. Allí la problemática del agua se entrelaza con los conflictos

políticos que se viven dentro y fuera de la comunidad. En Nachig y en Zinacantán el abastecimiento de agua potable por tubería es relativamente garantizado — aunque no libre de disputas —, y muchas personas complementan el agua entubada con agua de pozos o manantiales privados. Pero en estas dos comunidades preocupa que se estén secando las fuentes de agua que antes había dentro y alrededor de los pueblos, porque ya no llueve como antes.

En la cabecera los informantes no floricultores ponen énfasis en la floricultura como causante de escasez y posible contaminación del agua. Tanto los informantes como la literatura revisada reportan conflictos en torno a ciertos manantiales entre floricultores, horticultores y los pobladores (Burguete, 2000: 200), ya que los primeros se adueñaron de los manantiales y empezaron a captar el agua directamente desde los ojos de agua, con la consecuencia de que los arroyos quedaron secos o con muy poca corriente.

¡Ahora, Dios! Vas ahora al río para lavar, nada de agua. Porque ya son muchos los que siembran flor, puro invernadero. Por eso ya no hay agua. Antes el agua se veía bonita, azul; no se veía la basura, las bolsas de jabón se las llevó el río. Ahora, ay Dios, botellas de esos que usan los insecticidas y todos los que trabajan allí. Está estancado en los charquitos de agua, porque ya no hay mucha agua ya (María Hernández, 40 años, Zinacantán).

En todas las comunidades se mencionaba además el crecimiento de la población: antes sí alcanzaba el agua, pero ahora, con tanta gente, ya no es suficiente para todos. Con mucha frecuencia se menciona que ya no llueve como antaño a causa de la deforestación y que por eso ya no hay suficiente agua.

En donde hay conflictos religiosos, se atribuye la escasez de agua — por parte de los católicos tradicionales — al cambio en las costumbres. Mientras

que los católicos tradicionales siguen celebrando sus fiestas alrededor del agua para agradecer al dueño de la tierra y para pedir que venga la lluvia, los evangélicos — y muchas personas jóvenes — ya no lo hacen.

Desde antes ha quedado que hay yacimientos de agua que los tenemos que cuidar y que tenemos que respetar. Pero ahora que ya no hay nada, los evangélicos ni rezan ni nada, pues se está acabando todo y la tierra ya está seca. Pero ahora ya he visto que ya hay pozos secos de los evangélicos, porque ellos ya no les ponen cruces ni velas, pues los pozos ya están secos y ya no hay nada (María Pérez, 55 años, Nachig).

A parte de la escasez, en todas las comunidades se mencionó la contaminación del agua como un problema grave ya que trae consigo enfermedades si es usada para el consumo humano, hay contaminación visual y la proliferación de mosquitos. Mientras que en la cabecera algunas mujeres atribuyeron esta contaminación sobre todo a la floricultura y al empleo de agroquímicos; en Nachig, Elambo y Jech ch'entik mencionaron la basura y las heces fecales como fuentes de contaminación — en estas últimas dos comunidades no hay recolección de basura, y en ninguna de las tres hay drenaje.

Lo que quiere es que cada una de nosotras tengamos consciencia de tener limpio nuestro planeta, agua limpia, en cambio ahora aunque tengamos pozo nosotras mismas lo contaminamos por las letrinas que tenemos cerca. Lo que yo sugiero es que hubiera drenaje para que la suciedad vaya lejos, en mi observación veo antihigiénico como estamos viviendo (Juana López, 35 años, Nachig).

Las dificultades en cuanto al acceso y la calidad del agua fueron relatadas en todas las localidades y por todos los participantes. Hay una cierta diferencia entre hombres y mujeres: si bien ambos ven con preocupación los problemas que tienen con el agua, las mujeres hacen más

énfasis en cómo conseguir el líquido elemento —“antes cargábamos, ahora viene del tubo y de la pipa”—, y en su uso doméstico.

Pues yo veo que está acabándose el agua, como nosotros ya no tenemos agua en la comunidad. Pero me imagino que los hombres no sufren porque ellos solo se cambian y dejan sus ropas sucias, pero las que más sufrimos somos las mujeres porque vamos en busca de agua, aunque ahora hay personas que compran agua en pipa porque todavía hay. Pero si se acaba y sigue acabándose el agua ¿qué vamos a hacer? Aunque tengamos mucho dinero, pues, ¿qué podemos hacer? (María Pérez, 55 años, Nachig).

No encontramos diferentes perspectivas en cuanto al agua entre generaciones. La diferencia más notable se da entre religiones, ya que algunos católicos culpan a los evangélicos por la falta de agua, y los evangélicos a los católicos porque les limitan y hasta anulan el acceso al agua por discriminación religiosa.

Se nota generalmente un patrón de divisiones comunitarias o conflictividad en las cuatro comunidades: floricultores versus no floricultores, evangélicos versus católicos tradicionales.

### Cambios en los bosques

En el municipio de Zinacantán, como en Los Altos de Chiapas en general, dominaron originalmente bosques deciduos de pino encino. Las personas entrevistadas mencionaron sobre todo diferentes especies de encino que hubo antes: *tulan* (*Quercus rugosa*), *chikimib* (*Q. castanea*), *Q. crispipilus*, *batsi te* (*Q. crassifolia*), diferentes especies de pinos (*Pinus spp.*), así como madroño (*Arbutus xalapensis*), y algunas especies de menos importancia.

Aparte de los árboles para leña —sobre todo las diferentes especies de *Quercus*— y para madera (*Pinus spp.*), se utilizaba una gran variedad de recursos forestales como hongos y plantas comestibles,

plantas de ornato y medicinales, y animales silvestres comestibles. El uso y el conocimiento de estos recursos variaron según edad, sexo y localidad, siendo las mujeres ancianas las que más recursos del bosque en general mencionaron y los hombres jóvenes los que menos los conocen.

En todas las localidades, tanto hombres como mujeres de diferentes generaciones, describieron un cambio muy notorio en los bosques, tanto en la abundancia de árboles como en la diversidad. Los cambios en los bosques fueron mencionados por la gente como “ya no hay árboles”, “se están acabando los bosques”, “están talando mucho”, “ya no crecen grandes”, o por los entrevistados jóvenes como “deforestación”.

Existe una percepción diferenciada acerca de la fecha en que inició la deforestación. En Elambo las personas jóvenes todavía recordaban el lugar con mucho bosque y con árboles grandes. Según los informantes, aproximadamente en los últimos quince años se empezó con la tala masiva de árboles grandes, debido en parte a la introducción de la motosierra.

En Jech ch’entik y en Nachig las personas mencionaron una deforestación desde hace aproximadamente veinticinco años, más o menos coincide con el principio de la floricultura. Se tumban árboles para edificar los invernaderos en lugares boscosos y se utiliza la madera para la construcción de los mismos. Como se tienen que renovar los invernaderos de madera por lo menos cada diez años se vuelven a cortar árboles para el invernadero, aun cuando ya esté establecido.

En Zinacantán cabecera el cambio de los bosques inició hace mucho tiempo, aproximadamente cuarenta años o más, mucho antes de la introducción de la floricultura. Solo las personas muy mayores recuerdan todavía cómo era el bosque antes en ese lugar y adjudicaron la pérdida del mismo al crecimiento demográfico y el avance de la mancha “urbana”. Doña Magdalena, de 74 años, comenta cómo

en su niñez los árboles eran grandes y fuertes, pero ya hace aproximadamente 40-50 años había cerros casi deforestados, porque de allí la gente local y las personas que venían para cumplir sus cargos religiosos habían agarrado leña. Doña María, su hija, recuerda que ya había muy pocos árboles cuando ella creció.

Cuando yo era chiquita, no había, ahora hay más, porque ya volvieron a sembrar los cipreses, pero antes creo que crecieron mucho el roble, en onte', el chiquinib, como me decían. Yo vi esos árboles chiquitos, creo que tumbaron todo para la leña (María de la Cruz, 47 años, Zinacantán).

Con la aparición de los invernaderos y la expansión de las áreas de cultivo de flores, así como con el crecimiento urbano, la deforestación empezó a acelerarse y los bosques fueron reducidos notoriamente en las montañas circundantes.

En los cerros muy afectados por la deforestación alrededor de Zinacantán, se reforestó hace aproximadamente veinte años, pero en vez de resembrar con encinos, especie nativa, se reforestó con ciprés y pinos, árboles muy poco apreciados y de poca utilidad para los habitantes. González et al. (2007: 13) describen como el "incremento de *Pinus* spp. está asociado con una reducción en la riqueza de bejucos, lianas, arbustos y árboles del interior" y un empobrecimiento florístico de los bosques. En los bosques restantes alrededor de Zinacantán es raro encontrar encinos y otros árboles caducifolios, así que los bosques allí se convirtieron casi por completo en bosques de coníferas. Por lo tanto, no ha de sorprender que el joven Juan Alex recuerde únicamente el bosque de coníferas.

—¿Cómo ha cambiado el bosque desde que tú naciste?

—Como te digo, no ha cambiado tanto. Tal vez mi mamá es la que vivió más el cambio de muy abundante a muy despoblado. Yo veo lo más común, el ciprés, el pino (Juan Alex González, 23 años, Zinacantán).

En otras comunidades hubo acciones de reforestación muy puntuales hace años, también sobre todo con cipreses y pinos, pero la gente menciona que ya hace mucho que no se siembran árboles en cantidades notables.

En todas las localidades, las personas señalan la presión demográfica como una causa importante para la deforestación. Con la llegada de nueva gente y la necesidad de los jóvenes de fincar en algún lugar, se cortan árboles para hacer espacio y construir nuevas casas y calles. En Elambo, la comunidad con más área de bosque dentro de las cuatro estudiadas, la presión demográfica y el cambio en el cultivo de la milpa están siendo percibidos como causas de la deforestación. Jacorzynski describe un diálogo que tuvo en Xulvo', comunidad de Zinacantán, en el cual se adjudica la pérdida de bosque al cambio en el cultivo de milpa, lo que nos muestra que el discurso de la deforestación en el municipio de Zinacantán no varía mucho y que hay interpretaciones parecidas en diferentes parajes (Jacorzynski, 2004: 244).

El cambio en los bosques era percibido claramente como un problema. Hombres y mujeres añoraban que antes, cuando hubo más árboles, era más bonito, el clima era más fresco, había más animales y plantas silvestres del bosque, y, sobre todo, era más fácil acceder a la leña, recurso imprescindible para la vida cotidiana en Zinacantán.

Mientras que antes todas las mujeres de las comunidades de Zinacantán iban a buscar leña a donde quisieran —con la regla de solamente levantar ramas caídas o eventualmente cortar ramitas de árboles—, conforme creció la presión sobre los bosques se hizo más escasa la leña y la gente empezó a cercar sus terrenos, o por lo menos a delimitarlos claramente.

Ahora ya es más difícil que antes agarrar leña, antes en donde quiera caían los bracitos de los árboles grandes, cuando había viento caía mucho, sin necesidad de cortar, solo lo levantaban nada más las mujeres. Y

ahora ya no hay de esas (Magdalena Montejo, 45 años, Elambo).

Ahora la norma es que cada familia busque leña en su propio terreno, pero como los terrenos se están fragmentando más y más en general hay menos áreas boscosas, esto se vuelve aún más difícil. La consecuencia es que en las comunidades semiurbanas las familias más ricas utilizan estufas de gas y las que no pueden costear la estufa compran leña que viene de otros lugares. En las comunidades rurales, las mujeres siguen yendo por leña, pero con grandes dificultades para conseguirla. "Para agarrar leña, cada quien va en su parcela, es más seguro. Nos agarran los dueños y nos llevan al bote si nos vamos en otro terreno", dice Pedro (27 años) de Elambo.

Pero no sólo la presión demográfica en Zinacantán es la causa de la escasez de leña, también el hecho de que el bosque se convirtió en una mercancía, ya que se pueden vender parcelas enteras para leña o carbón, como ha ocurrido en Jech ch'entik y en Elambo.

Pues la verdad es muy difícil, porque solo algunos se vuelven ricos por vender los árboles, pero los más pobres somos los que sufrimos, porque ya no tenemos dónde conseguir la leña, (Señoras en un taller en Jech ch'entik).

### ¿Cómo varían las perspectivas relativas a los cambios en los bosques?

Como las mujeres en Zinacantán tienen tradicionalmente la responsabilidad de ir al bosque a conseguir leña, no es de sorprender que sean ellas las que más conocimiento tienen sobre las diferentes plantas que hay. Las mujeres, y en especial las señoras adultas y ancianas, describieron una gran variedad de árboles en el bosque, los que hubo antes y los que todavía existen. Los señores adultos y ancianos también conocían los árboles, pero mencionaron menos especies diferentes y los hombres jóvenes casi no conocían los árboles del bosque. Se

confirma el supuesto de la psicología ecológica que acción y percepción son inseparables y que percibimos diferentes oportunidades ambientales en función de las actividades en las que estamos involucrados. Las mujeres mayores fueron las que hicieron más énfasis en el problema de la leña, mientras que las jóvenes —a excepción de las de Elambo— parecen haberse acostumbrado a la idea de comprar leña o cocinar con gas. Tanto jóvenes como adultos y ancianos remarcan la deforestación como una pérdida, sin embargo el horizonte de tiempo con que lo hacen difiere de comunidad a comunidad.

Aparte de la leña, las personas entrevistadas mencionaron varias plantas comestibles, tanto del bosque como del río, que antes formaban parte de la dieta, pero que muchos y muchas jóvenes ya no las conocen o "no saben comer". Mientras que los hombres mantuvieron que las verduras siempre estaban cultivadas —"no crecen así nada más"—, las mujeres mencionaron varias especies de plantas silvestres: hierbamora (*Solanum americanum*), maruchitaj (*Amaranthus hybridus*) y napux (*Brassica campestris*), aparte de los hongos que antes, en época de lluvia, formaban parte importante de la dieta.

Pero, por diferentes razones, entre otros la deforestación y los cambios climáticos, la práctica de recolección de plantas silvestres casi se acabó. Una informante de Zinacantán comenta:

Se siente uno mal, porque estaba uno acostumbrado solo a cortarlo, ahora ya todo es comprado. Antes aquí cerquita había nabitos, en estos tiempos ya había muchas verduras, pero ahora ya nada (...) En el lugar de hongos, antes se conseguía todo una cubetita, bien sabroso. Pero ahora en el lugar de hongos es puro invernadero. Por eso ya no se consigue (María Hernández, 40 años, Zinacantán).

Comentarios parecidos hicieron las participantes en Nachig y en Jech ch'entik, en donde por la deforestación

ya no encuentran flora comestible. En Elambo sigue vigente la práctica de recolección de hongos y plantas comestibles por parte de algunas mujeres, sin embargo, ésta se admite con cierta pena. Los y las jóvenes no practican la recolección de plantas, tanto las mujeres como los hombres jóvenes lo conocieron solo por lo que sus madres o abuelas les habían platicado.

Mientras que las mujeres tenían grandes conocimientos sobre las plantas silvestres y deploraron más su pérdida que los hombres, los animales silvestres fueron referidos por los dos sexos por igual. Aquí la diferencia era notoria entre las generaciones. Las y los jóvenes mencionaron como animales del bosque solamente a las ardillas, pájaros y conejos —y habían escuchado que antes había venados y otros animales—, no obstante las personas adultas y mayores recuerdan varios animales del bosque que antes había, pero ahora ya no o casi ya no, por ejemplo venado (*Odocoileus virginianus*), tlacuache (*Didelphis virginiana*), coyote (*Canis latrans*), tepezcuintle (*Cuniculus paca*), zorro gris (*Urocyon cinereoargenteus*), comadreja (*Mustela frenata*), entre otros.

### Contaminación por desechos

Los desechos sólidos inorgánicos fueron generalmente referidos como basura. En lo que se mencionó como tal destacaron las botellas de refresco, bolsas de nailon, pilas, y las llamadas “bolsas de Sabritas”. Según algunos participantes, empezó a haber basura aproximadamente hace 20-30 años. Esta visión se debe a que los desechos orgánicos que siempre había, no están percibidos como basura o no como un problema digno de mencionarse, ya que se desintegraban. A muchas personas se les hizo difícil estimar el tiempo desde cuándo había presencia de basura en el paisaje ya que los cambios se fueron dando de manera paulatina. Los y las jóvenes ya no recuerdan un tiempo sin basura inorgánica. Para ellos siempre hubo, pero saben que antes la gente tenía otros hábitos de consumo y suponen que por ende no hubo tanto desecho inorgánico.

Los desechos mencionados arriba son muy visibles en calles, patios, terrenos, cuerpos de agua y bosques de las comunidades de Zinacantán. Que la basura esté regada en todos estos lugares está percibido como un problema —denominado contaminación, por algunos— ya que según los colaboradores huele mal, se ve feo, provoca moscas y trae enfermedades. Como causas de la contaminación por basura, los colaboradores —hombres y mujeres de todas las edades— mencionaron que el consumo ha cambiado, y que ahora todo viene envuelto o en bolsas de plástico. Además se mencionó que el crecimiento poblacional agudizó el problema de la contaminación.

El problema se percibió en todas las comunidades, aunque se hizo más énfasis en donde no hay recolección de basura: en Jech ch'entik y Elambo, y se mencionó el tema de la basura asociado con el tema del agua.

Ahora en todas partes hay basura, sea calle o agua, está llena de basura. Pero lo malo es que no tenemos agua, y cuando ya no conseguimos agua que tomar, pues la tomas, aunque tenga basura (...) Es que no entendemos que debemos cuidar el agua y no ponerle basura (Señora en un taller en Jech ch'entik).

En las comunidades donde no hay servicio de recolección de basura, las familias —y allí generalmente las mujeres— tienen que deshacerse de los desechos de alguna manera. Lo más común es quemar todo lo que se puede quemar: plásticos, papel, desechos orgánicos secos, etcétera. Los desechos que no se pueden quemar —latas de aluminio y fierro, vidrio, pilas, etcétera— se entierran o se echan en algún barranco.

En Nachig y la cabecera de Zinacantán hay servicio de recolección de basura, y eso ciertamente está experimentado como un gran alivio:

Antes había mucha contaminación, pero como ahora ya tenemos camión de volteo para recolectar la basura, quiere que juntemos la basura cada uno de nosotros

en nuestro patio de la casa, no es igual como antes que nunca terminábamos de quemar basura (Señoras en un taller en Nachig).

Aun así el problema de la contaminación por basura persiste, ya que muchas personas continúan tirando sus desechos en un barranco, o en la calle.

Fue interesante observar cómo las personas percibían la contaminación en espacios públicos a diferencia de los espacios privados. Los espacios públicos eran percibidos como muy contaminados, mientras que casas y patios se encontraban más limpios. “Antes había mucha basura alrededor de nuestra casa porque no teníamos higiene”, comenta una señora mayor de la cabecera de Zinacantán. En las pláticas del programa Oportunidades y de las Clínicas de Salud, adonde asisten la mayoría de las señoras entrevistadas, se pone mucho énfasis en no acumular basura ni otros focos de contaminación en las casas y patios. “Los de Oportunidades ya no nos permiten basuras ni animales” (María Hernández, 40 años, Zinacantán).

Mientras que los llamados a mantener limpias las casas y patios —siendo esto responsabilidad única de las mujeres— parecían tener frutos, los llamados generales a no tirar basura o “poner la basura en su lugar” no eran muy efectivos, como se constata en esta declaración:

Es que la gente, pues, ordenamos que no tiren basura, que no tiren pañales, que no tiren plástico, que no tiren todo, pero la gente aquí no quiere. Nada. Entonces, un rato lo hablamos en público, y la otra semana ya lo tiran otra vez. A veces tiran animales, de todo... (Andrés Pérez, 48 años, Jech ch'entik).

Sobre las soluciones al problema de la basura, hay posturas diferentes. En Elambo y Jech ch'entik decían que se necesitaban limpiar las áreas contaminadas y el ojo del agua. De esta forma sí había consenso sobre qué hacer después con la basura. En Nachig y Zinacantán

proponían poner botes en el centro del poblado para que la gente echara allí sus desperdicios, juntar la basura y entregarla al carro recolector para que fuera trasladada al tiradero comunal. Parecido al problema de la contaminación del agua por heces fecales —“que la suciedad vaya lejos”—, la solución que algunos proponían era “juntar y tirar lejos” o “juntar y quemar”, como si la basura dejara de contaminar por el simple hecho de no ser visible en nuestro ambiente inmediato. Los jóvenes del telebachillerato mencionaron la idea de reciclar y concientizar sobre el problema de la basura:

Para enfrentar el problema hay que impartir pláticas en la cabecera municipal de Zinacantán, en las escuelas, con los padres de familia, hay que poner carteles en lugares descuidados, tener más cuidado de no tirar. Y otra cosa es reciclar, hay que reciclar el plástico y todo (Jóvenes en un taller en la escuela telebachillerato de Zinacantán).

Algunas señoras en las comunidades mencionaron la posibilidad de reducir la basura con acciones tan sencillas y concretas como por ejemplo traer el chal para comprar huevos y llevar una servilleta cuando van a la tortillería.

Ambos sexos percibían la existencia de la basura como un gran problema y nadie tiene una solución patente. Las mujeres hicieron más énfasis en las maneras de cómo deshacerse de los desechos —por ejemplo quemar, enterrar, tirar lejos, etcétera— que los hombres, ya que por la división del trabajo existente, a ellas les toca diario realizar esta tarea.

En el tema de los desechos destacó que hay percepciones similares acerca de la gravedad y el origen del problema entre hombres y mujeres, entre las generaciones y entre las localidades. La única diferencia encontrada fue que las personas jóvenes manifestaron explícitamente que ellos y ellas mismas —o sea, nosotros mismos— generamos la basura y somos los responsables de la contaminación. Desde



esta postura se están empezando a buscar alternativas concretas, aunque sean iniciales, como reciclar o reducir. Sin embargo, otro tipo de enunciados comunes fueron: “la gente no entiende”, “la gente de afuera tira mucha basura”, etcétera.

### Diferencias entre las perspectivas de los cambios ambientales

Los cambios no son percibidos y expresados de la misma manera por los sujetos; es decir, las perspectivas que los lugareños tienen dependen de muchos factores, entre ellos la edad, el género, el estatus socioeconómico, la fuente de ingresos, la religión y las condiciones materiales de la comunidad en donde viven. A continuación sintetizamos las diferencias de las perspectivas ambientales entre las localidades, entre los géneros y entre los diferentes grupos de edad.

#### Diferencias entre parajes

Encontramos diferencias en las perspectivas ambientales entre los pobladores de los parajes estudiados, en ciertos temas eran más notorios que las diferencias entre géneros y generaciones. Los y las participantes hicieron un énfasis diferente en los problemas ambientales percibidos y vividos por ellos en las diferentes localidades (ver Cuadro 5). En Zinacantán cabecera los temas principales eran la escasez de agua, la contaminación por plaguicidas, y el deterioro de los bosques; en Nachig, el tema prominente era la alimentación, enfermedades resultantes de ella, y conflictos por agua; mientras que en Jech ch'entik los participantes hicieron énfasis en los problemas que tienen con la escasez de agua y leña y con la contaminación por basura. En Elambo enfatizaron mucho la contaminación por basura y los problemas con la milpa, especialmente la pérdida de fertilidad de la misma.

Las diferencias entre parajes se explican en el marco de las diferencias productivas y ambientales, ya que la

fuerza principal del ingreso, los patrones de consumo, los servicios y la disponibilidad y calidad de recursos naturales, no son los mismos en todos los parajes. Esto sugiere que más allá de las experiencias individuales, los factores determinantes en la conformación de sus perspectivas ambientales son las vivencias que tienen las personas con su entorno.

#### Diferencias entre hombres y mujeres —condición de género

Dentro de los parajes se notaron diferencias entre hombres y mujeres en cuanto a la importancia que atribuyen a ciertos problemas ambientales: dentro de cada comunidad, las mujeres enfatizaron más los temas de la leña, el agua y la alimentación. En cambio, los hombres generalmente se preocuparon por los cambios productivos y la pérdida de fertilidad de la milpa.

Desde la perspectiva Ecofeminista, gran parte de las actividades de subsistencia están íntimamente relacionadas con los recursos naturales (Mies, 2004). Un deterioro de los recursos naturales implica cada vez más dificultades para llevar a cabo actividades de subsistencia. Muchas de estas actividades, como conseguir leña para cocinar, acarrear agua, recolectar plantas comestibles y criar animales de traspatio, las llevan a cabo las mujeres en Zinacantán y, por ende, ellas estarían siendo más afectadas por el deterioro de ciertos recursos naturales —o estaban afectadas, dependiendo de la comunidad y la edad, ya que las mujeres jóvenes en las comunidades semiurbanas casi ya no acarrear leña ni agua, ni recolectan plantas comestibles y muy pocas crían animales de traspatio.

Desde la línea Mujeres y Medio Ambiente se enfatiza que, debido a sus actividades en la esfera reproductiva en el ámbito doméstico, las mujeres tienen un conocimiento especial acerca de una parte de los recursos naturales, por ejemplo el bosque y las plantas alimenticias, así como un interés especial en su manejo sustentable (Joekes, 2004: 500). Por su parte, los

hombres centran su interés en otros recursos naturales, por ejemplo los terrenos para el cultivo y la milpa. Esta línea mantiene que la división sexual del trabajo es central para el manejo, los conocimientos y el interés en los recursos naturales, hecho que se vio confirmado en varias ocasiones en este estudio.

La línea Género y Medio Ambiente resalta que por las relaciones desiguales de género existen papeles distintos frente al ambiente entre hombres y mujeres. Éstas pueden implicar intereses diferentes y conflictos por el control y manejo local de los recursos (Joekes, 2004: 498; Paolisso, 1998: 200).

Lo que se ejemplifica en este estudio, cuando en Jech ch'entik las mujeres condenaron la venta de terrenos para deforestación, mientras que los hombres justificaron ese mismo hecho por la necesidad de ganar dinero. Otro ejemplo son los conflictos por el acceso a aguas superficiales entre algunas mujeres que necesitan los ríos para lavar ropa, por un lado; y los floricultores, en su mayoría hombres, por el otro. Un aspecto importante destacado por esta teoría es que las prioridades no solamente pueden diferir entre hombres y mujeres, sino también al interior de los hogares y al interior de las comunidades, o sea que el género se articula con la edad, la posición socioeconómica, la identidad religiosa, étnica, etcétera. Eso quedó claramente comprobado en este estudio, ya que en algunos temas la edad, la ocupación, la religión y la comunidad de proveniencia, parecen más importantes que la pertenencia a un género u otro, aunque éste siempre se encuentra presente y transversal en las demás diferencias.

### Diferencias entre jóvenes, adultos y ancianos

Las perspectivas de jóvenes, adultos y ancianos acerca del deterioro de los recursos naturales son diferentes, ya que los y las jóvenes simplemente no identifican ciertos cambios que los adultos o los ancianos reconocen, por ejemplo en cuanto a alimentación, bosques, agua, o en cuanto al ámbito productivo. Eso es entendible

si consideramos que una gran parte de cambios ambientales —y socioeconómicos— iniciaron en Zinacantán hace aproximadamente 25 a 30 años, tiempo en el cual los jóvenes eran todavía bebés o infantes, por lo que ellos no tienen una referencia real y vivida de como era antes.

También fue notorio cómo las personas jóvenes ya se habían “acostumbrado” al nuevo estilo de vida, por ejemplo, para las mujeres jóvenes es normal cocinar con gas o comprar leña, mientras que las adultas y ancianas deploran la escasez de leña. Esto parece estar ligado a nuevas formas de producción y consumo: se produce para poder comprar los bienes necesarios, ya no para el autoconsumo.

Los jóvenes participantes identificaron algunos problemas ambientales que para los ancianos no eran tan urgentes, como el problema de la basura, en donde los primeros hicieron énfasis en soluciones técnicas, organizativas y de educación: reciclar, organizar al pueblo, concientizar.

Las diferencias entre las generaciones se deben por un lado al tiempo vivido de referencia, y por otro lado a valores y estilos de vida divergentes, seguramente en parte influenciadas por la modernidad, misma que llega a través de la educación escolar, los medios de comunicación, y por el contacto con personas de afuera. Son los jóvenes los que asumen esta modernidad más claramente en su forma de secularización, descubrimientos científicos, avances técnicos y educación, e interpretan los cambios ambientales bajo esta lógica.

### Conclusión

El concepto de perspectivas ambientales puede ser útil para dar cuenta de los intereses diferenciados que tienen hombres y mujeres, jóvenes, adultos y ancianos, y sus explicaciones y valoraciones de los cambios, ya que las perspectivas ambientales recogen la acción/percepción de las personas y su interpretación. Como

mujeres y hombres tienen papeles bastante distintos por su condición de género, sus actividades son diferentes y las interpretaciones resultantes de esas también. Pero más allá de la diferencia de género — que es transversal a todas las demás diferencias— el concepto permite ver otras variables importantes. Las experiencias directas de personas provenientes de diferentes lugares con condiciones ambientales disímiles son igualmente desiguales, por ejemplo si provienen de lugares urbanos versus rurales, de comunidades con servicios e infraestructura versus de poblados rodeados de bosques: las personas de cada esfera se mueven dentro de ambientes que brindan otras cosas. También el cambio vivido e interpretado por ancianos, adultos y jóvenes, difiere según sus conocimientos prácticos, sus habilidades y la cultura dentro de la cual están inmersos.

Concluimos que el concepto es útil para analizar cómo personas de un mismo grupo cultural perciben e interpretan su ambiente y los cambios que están ocurriendo en él, y entender por qué hay diferentes visiones en un grupo supuestamente homogéneo. Sin embargo, creemos poder concluir a partir del trabajo empírico que no solamente las “vivencias individuales” resultan de suma importancia en la conformación de las perspectivas ambientales, sino también hay que tomar en cuenta las vivencias colectivas de personas con características parecidas, por ejemplo hombres, mujeres, ancianos, adultos, jóvenes o personas de una determinada comunidad, ya que cada grupo de estos comparte actividades, roles o condiciones específicas.

A pesar de las diferencias encontradas en los participantes, hay problemas comunes que todos y todas identificaron y sobre los cuales hay que trabajar conjuntamente. Estamos convencidos de que en el caso de Zinacantán los obstáculos para enfrentar los cambios ambientales no están en las posiciones diferentes de las personas, sino en las divisiones políticas, así como en la falta de iniciativas locales.

Creemos que es necesario investigar más acerca de las divisiones comunitarias y cómo éstas pueden afectar el ambiente biofísico natural, tema que se toca aquí solamente de manera parcial. Las reflexiones sobre divisiones comunitarias se reducen muchas veces a cuestiones de partidos políticos y de religiones, y se enfatiza la violencia que han desatado, tema que ciertamente es muy impactante y es importante denunciar. Es tiempo de enfocar el efecto que tienen estas divisiones en el manejo y la protección de recursos naturales.

Para futuras investigaciones vemos también la necesidad de indagar más sobre las diferencias entre generaciones. Teniendo los y las jóvenes visiones a menudo diferentes que los adultos y ancianos, sería sumamente importante entender a qué se deben estas diferencias, cómo es que los jóvenes se imaginan un manejo sustentable de los recursos naturales y cuál podría ser el puente con las experiencias y conocimientos que sus padres/madres y abuelas/abuelos tienen.

Los cambios ambientales detectados en este estudio, como la deforestación, escasez y contaminación del agua, los problemas con los agroquímicos y problemas relacionados con el cambio en el consumo y los desechos, son comunes en muchas partes del mundo, en lugares muy lejanos entre sí. Sin embargo, hay acciones concretas que se pueden llevar a cabo en cada lugar para contrarrestar estos cambios, algunos de los que ya emprenden las señoras pertenecientes a Mujeres Sembrando la Vida, como reforestación, uso de estufas ahorradoras de leña, construcción de letrinas secas, y muchos otros que hay que iniciar no solamente en este grupo.

Esperamos que este trabajo sea útil para la reflexión y toma de acción de los propios sujetos, para la intervención de organizaciones sociales y civiles, y tal vez hasta para el diseño de políticas públicas en cuanto a equidad, desarrollo y conservación de los recursos naturales. Los propios habitantes de Zinacantán son los

agentes de cambio indicados, son ellos y ellas quienes pueden y deben hacer las reivindicaciones necesarias, y son quienes pueden cambiar las acciones, tanto propias como las de sus gobiernos.

### Agradecimientos

A Xunka Hernández por su valioso apoyo, tanto en la cofacilitación de los talleres, como en las entrevistas y en la traducción.

A las señoras de Mujeres Sembrando la Vida por sugerencias importantes al inicio de esta investigación y por estar dispuestas a participar.

A todas las mujeres y hombres de Zinacantán, quienes dieron su palabra en entrevistas y talleres, por su apertura, su confianza, por las discusiones “calientes”, y por compartir sus preocupaciones y esperanzas.

A todas las personas quienes participaron en los talleres, por su emoción, a través de la reflexión y las discusiones grupales.

A Marcelina Rodríguez, por su cuidadosa traducción y transcripción de las entrevistas y de las discusiones en talleres del tsotsil al español.

### Notas

<sup>1</sup>Aquí distinguimos entre “semiurbano” y “rural” según la infraestructura disponible en la localidad: pavimentación de calles, oficinas de gobierno, servicio de salud, comunicación a través de carreteras, comercios, escuelas medias superiores.

### Bibliografía

Arizpe, L. et al. (1993), *Cultura y Cambio Global: Percepciones Sociales sobre la Deforestación en la Selva Lacandona*, México: CRIM-UNAM/Miguel Ángel Porrúa.

Benez, Mara Cristina (2008), “Percepciones de la Calidad y de la gestión de las aguas superficiales de la

cuenca de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas”, Tesis doctoral, México: Ecosur.

Burguete Cal y Mayor, Araceli (2000), *Agua que nace y muere. Sistemas normativos indígenas y disputas por el agua en Chamula y Zinacantán*, Científica 2, San Cristóbal de Las Casas: Proimmse-IIA-UNAM.

Chávez Ballado, Gloria (2007), “Percepción del ecosistema por la comunidad de San Crisanto en Yucatán de acuerdo con su actividad”, en *Cuiculco*, México: Escuela Nacional de Antropología e Historia, vol. 14, núm. 29, enero-abril 2007, pp. 99-114.

Collier, George A. (1992), “Búsqueda de alimentos y búsqueda de dinero: cambios en las relaciones de producción en Zinacantán, Chiapas”, en C. Hewitt de Alcántara (comp.), *Reestructuración económica y subsistencia rural*, México: El Colegio de México/ UNRISD, pp. 183-221.

Collier, George A., David C. Mountjoy y Ronald B. Nigh (1994), “Peasant Agriculture and Global Change. A Maya response to energy development in southeastern Mexico”, en *BioScience*, vol. 44, núm. 6, pp. 398-407.

Durand, Leticia (2008), “De las percepciones a las perspectivas ambientales. Una reflexión teórica sobre la antropología y la temática ambiental”, en *Nueva Antropología, Revista de Ciencias Sociales. Ambiente y Cultura*, núm. 68, Enero-Junio 2008, pp. 75-87.

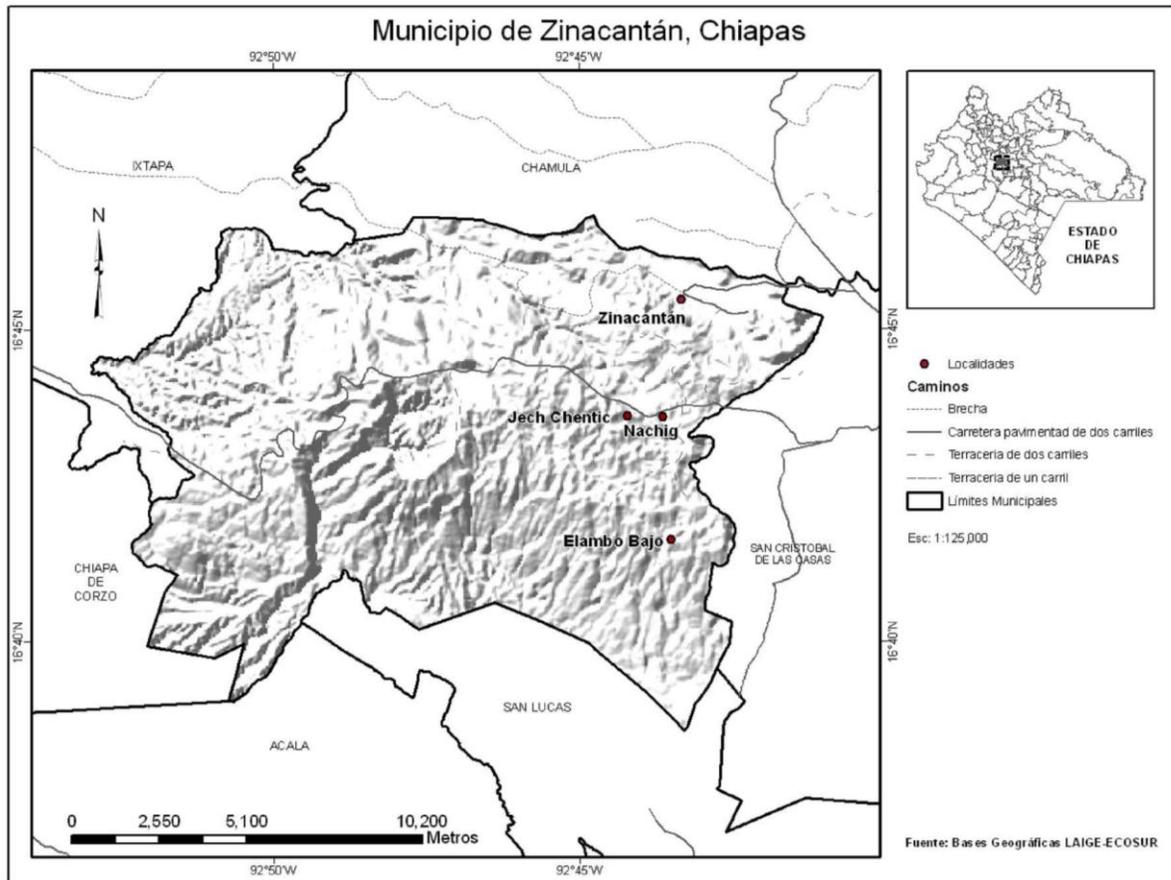
González-Espinosa, M. et al. (2009), “Tendencias y proyecciones del uso del suelo y la diversidad florística en los Altos de Chiapas, México”, en *Investigación ambiental. Ciencia y política pública*, vol. 1, núm. 1.

Hartigan, Pamela (1998), *Género, Ambiente y Salud. Incorporación de un enfoque de género en el trabajo de salud ambiental*, División de Salud y Desarrollo Humano. Organización Panamericana de la Salud.

Hope, Anne y Sally Timmel (1995), *Training for Transformation. A Handbook for Community Workers*. Book I., Kleinmond, South Africa: Training for Transformation Institute.

Anexo: Cuadros y figuras

**Figura 1: Ubicación de los lugares de estudio sobre perspectivas ambientales en Zinacantán, Chiapas**



Fuente: LAIGE -ECOSUR.

**Cuadro 1: Diferencias y similitudes entre los lugares de estudio:  
número de habitantes y viviendas, infraestructura y condiciones ambientales**

	<b>ZINACANTÁN, CABECERA MUNICIPAL</b>	<b>NACHIG</b>	<b>JECH CH'ENTIK</b>	<b>ELAMBO BAJO</b>
Urbano/rural	Semiurbano	Semiurbano	Rural	Rural
No. de habitantes	3,876	3,260	892	629
No. de viviendas habitadas	817	607	155	140
Conexión carretera/terracería	Carretera	Carretera panamericana	Carretera panamericana	Terracería, recientemente parcialmente pa- vimentada
Actividad económica principal	Floricultura, Artesanía, Servicios, Construcción	Agricultura, Floricultura, Artesanía, Comercio, otros Servicios	Agricultura, Artesanía, Construcción, servicios	Agricultura, Artesanía, Construcción
Agua	Entubada	Entubada y de pipa	De pozo	Entubada y de pipa
Aguas negras	Hay drenaje	No drenaje, pero algunas casas con fosas sépticas	No hay drenaje	No hay drenaje
Bosque	Vegetación secundaria, bosques de coníferas	Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	Algo de bosque de pino encino
Leña	Escasa	Muy escasa	Escasa	Disponible
Contaminación por basura	Fuerte, pero hay servicio de recolección	Fuerte, pero hay servicio de recolección	Fuerte, no hay servicio de recolección	Moderado, no hay servicio de recolección

Fuente: INEGI, 2010 para los datos sobre número de habitantes y viviendas. Los demás datos provienen del trabajo de campo.

**Cuadro 2: Participantes en entrevistas por localidad, sexo y edad**

LOCALIDAD	No. DE MUJERES ENTREVISTADAS	EDADES	No. DE HOMBRES ENTREVISTADOS	EDADES
Elambo	3	24, 47, 64	3	28, 48, 67
Nachig	1	55	1	43
Jech ch'entik	1	33	1	48
Zinacantán	4	19, 40, 44, 74	2	23, 25

Fuente: Elaboración propia de los autores.

**Cuadro 3: Participantes en talleres por localidad, descripción del grupo, sexo y grupos de edad**

LUGAR DONDE SE LLEVÓ A CABO EL TALLER	DESCRIPCIÓN DEL GRUPO	No. DE MUJERES PARTICIPANTES	No. DE HOMBRES PARTICIPANTES	EDAD	No. PARTICIPANTES
Zinacantán	Estudiantes Prepa	4	2	Jóvenes (17-19 años)	6
Zinacantán	Estudiantes Prepa	3	9	Jóvenes (16-19 años)	12
Elambo	Socias de MSV* y hombres familiares	15	3	Mixto (15-60 años)	18
Nachig	Socias de MSV*	12		Mixto (20-50 años)	12
Nachig	Socias de MSV*	19		Mixto (18-70 años)	19
San Cristóbal	Lideresas de MSV*	11		Mixto, más jóvenes	11
Zinacantán	Socias de MSV*	7		Mixto (14-50 años)	7
San Cristóbal	Lideresas y socias de MSV*	14		Mixto (15-70 años)	14
Jech ch'entik	Socias de MSV*	18		Mixto (12-66 años)	18
Total		103	14		117

\*MSV significa “Mujeres Sembrando la Vida”, grupo de mujeres que se organizan, entre otros temas, alrededor del microcrédito.  
Fuente: Elaboración propia de los autores.

**Cuadro 4: Cambios ambientales principales identificados por los participantes en entrevistas y talleres en cuatro comunidades de Zinacantán, Chiapas, 2009**

<b>PROBLEMAS O CONFLICTOS</b>
Cambio productivo en la milpa; cambio de la milpa hacia la floricultura bajo invernadero. Consecuencias de floricultura: tala de árboles, escasez de agua, pérdida de autosuficiencia alimentaria, contaminación por agroquímicos.
Pérdida de fertilidad de suelos para milpa y problemas relacionados con agroquímicos: menos cosecha de maíz, milpa acostumbrada a fertilizantes, dependencia de agroquímicos caros.
Cambio climático: menos lluvia y menos seguido, frío y calor más intensos, más sequías.
Escasez y contaminación del agua en manantiales, arroyos y ríos. Conflictos por el recurso agua. Falta o escasez del agua entubada.
Deforestación, disminución y fragmentación de bosques. Consecuencias: menos agua, menos lluvia, menos plantas y hongos silvestres, menos animales silvestres, menos leña.
Más dependencia de alimentos comprados. Alimentación menos saludable. Pérdida de alimentos derivados de la milpa, disminución de animales domésticos.
Contaminación por basura: trae enfermedades, contaminación visual, contaminación de cuerpos de agua.
<b>VENTAJAS O CAMBIOS POSITIVOS</b>
Agua entubada o en pipa en algunas comunidades, ya no hay que ir a cargarla.
Servicio de recolección de basura en dos comunidades: menos basura regada.
Tiendas en las comunidades alejadas: disponibilidad de bienes de consumo.
Pavimentación de calles, construcción de carreteras, caminos: menos lodo, comunidades lejanas más accesibles, más cercanía relativa del pueblo (Zinacantán) y de San Cristóbal.
Casas de block y cemento percibidas como más cómodas y duraderas.

Fuente: Elaboración propia de los autores.

**Cuadro 5: Cambios ambientales principales identificados en cuatro comunidades de Zinacantán, Chiapas, 2009**

<b>COMUNIDAD</b>	<b>CAMBIOS AMBIENTALES PRINCIPALES IDENTIFICADOS:</b>
Zinacantán	Cambio hacia floricultura, deterioro del bosque, deterioro de la alimentación.
Nachig	Deterioro de la alimentación y escasez y conflictos por el agua.
Jech ch'entik	Contaminación, escasez y conflictos por el agua, Contaminación por basura y deterioro del bosque (especialmente falta de leña).
Elambo Bajo	Contaminación por basura y problemas con la milpa (especialmente pérdida de fertilidad).

Fuente: Elaboración propia de los autores.



---

# USO MÚLTIPLE Y BIODIVERSIDAD ENTRE LOS MAYAS YUCATECOS (MÉXICO)

VÍCTOR M. TOLEDO, NARCISO BARRERA-BASSOLS,  
EDUARDO GARCÍA-FRAPOLLI y PABLO ALARCÓN-CHAIRES

---

## RESUMEN

Con base en una detallada revisión de literatura se hace un recuento del número de especies de la flora y fauna regionales utilizadas por los mayas yucatecos actuales, mediante su estrategia de uso múltiple de los recursos. La revisión ofrece datos sobre la biodiversidad útil en la milpa y otras prácticas agrícolas, los huertos familiares, la apicultura y meliponicultura, la extracción y recolección de recursos forestales, la caza y la pesca. Se estima que una comunidad maya de la Península de Yucatán utiliza en promedio entre 300 y 500 especies de animales y plantas. Con un estudio de caso en la comunidad de Punta Laguna en Yucatán, México, se ilustra la dinámica que sigue el conjunto de

13 actividades que forman la estrategia local del uso múltiple cuando se aplica un análisis de flujos monetarios. Se concluye que es esta estrategia múltiple la que explica el elevado número de especies utilizadas por familias y comunidades mayas, la que induce un cierto equilibrio espacial al mantener un patrón de paisajes en forma de mosaico, la que opera como un eficiente mecanismo ecológico y económico, y la que explica en parte la resiliencia del sistema naturaleza-cultura. Finalmente se llama la atención acerca de la importancia de reconocer la estrategia múltiple en la exploración del pasado de la cultura maya y en la discusión sobre su futuro.

La Península de Yucatán, México, constituye una de las regiones más interesantes y enigmáticas no solo de Mesoamérica sino del mundo entero, en virtud de sus particulares condiciones biológicas, geológicas, geográficas y meteorológicas, así como de su larga historia cultural. Cuatro rasgos distinguen a esta planicie tropical como un laboratorio en donde han ocurrido y siguen ocurriendo procesos socio-ambientales de gran trascendencia: a) la topografía semiondulada de reciente origen cársico con ausencia de corrientes de agua superficiales en su porción norte y abundancia de humedales en sus porciones central y sur, cubierta

por diferentes tipos de selvas tropicales dinamizadas por una marcada estacionalidad pluvial, con lluvias escasas o nulas durante seis meses del año o más, bajo un heterogéneo mosaico de suelos calizos, hidromórficos, delgados y pedregosos; b) la enorme antigüedad de la huella humana, estimada en más de 5000 años; c) la existencia de un proceso civilizatorio de muy larga duración representado por la cultura maya, cuyo más antiguo registro se remonta 3000 años atrás, además de procesos más particulares tales como la domesticación y/o el uso de especies domesticadas fuera de la región desde hace unos 5400 años (Pohl *et al.*, 1996; Colunga-Garcíaamarín y Zizumbo, 2004);

y d) la alta heterogeneidad ambiental o paisajística, expresada en una moderada diversidad biológica, no obstante ser éste un territorio habitado a lo largo de miles de años y en ocasiones bajo patrones de alta densidad demográfica.

A lo anterior deben agregarse dos factores que incrementan el riesgo y la incertidumbre: 1) los recurrentes incendios forestales, especialmente en su porción caribeña (Snook, 1998), y 2) la alta frecuencia de huracanes. Tan solo entre 1850 y 2000 la Península de Yucatán fue afectada por 105 huracanes (Boose *et al.*, 2003).

El "misterio maya", expresado en la pregunta: ¿cómo una cultu-

---

**PALABRAS CLAVE / Biodiversidad / Mayas Yucatecos / México / Uso múltiple / Yucatán /**

Recibido: 14/06/2007. Modificado: 04/04/2008. Aceptado: 16/04/2008.

**Víctor M. Toledo.** Doctor en Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México. Investigador, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM, México. Dirección: Apdo. 41 H, Morelia, Michoacán 58090, México. e-mail: vtoledo@oikos.unam.mx

**Narciso Barrera-Bassols.** Doctor en Ciencias, Universidad de Gante, Bélgica. Investigador, Instituto de Geografía, UNAM, Morelia, México. e-mail: barrera@igg.unam.mx

**Eduardo García-Frapolli.** Doctor en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de Barcelona, España. Postdoctorante, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM, México. e-mail: frapolli@oikos.unam.mx

**Pablo Alarcón-Chaires.** Maestro en Ciencias, Universidad Michoacana, México. Técnico, UNAM, México. e-mail: palarcon@oikos.unam.mx

---

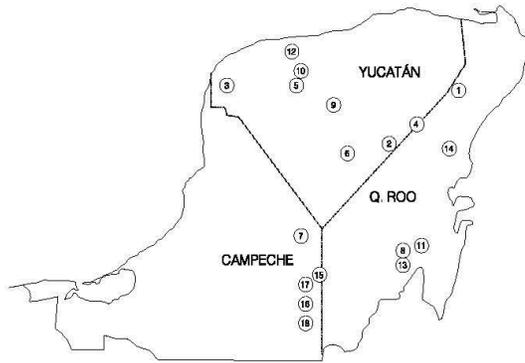


Figura 1. Ubicación geográfica de las 18 comunidades a las que se hace referencia en el texto. 1: Punta Laguna, 2: Xocén, 3: Chunchucmil, 4: Xuilub, 5: Hocobá, 6: Tixcacaltuyub, 7: La Montaña, 8: Petcacab, 9: Yaxcabá, 10: Muxupip, 11: X-Hazil, 12: Sinanché, 13: Ávila Camacho, 14: Xkon Ha, 15: Veinte de Noviembre, 16: Cristóbal Colón, 17: Echevarría-Castellot, y 18: Once de Mayo.

ra de 3000 años de antigüedad ha logrado permanecer en condiciones geofísicas y climáticas tan poco favorables y no obstante el registro de la caída drástica de sus poblaciones durante el pasado?, ha motivado centenares de artículos y decenas de libros escritos desde los puntos de vista de la arqueología, paleo-ecología, geografía física y cultural, etno-historia y ecología humana.

El análisis desde una perspectiva etnoecológica de los mayas yucatecos contemporáneos realizada por Barrera-Bassols y Toledo (2005) encontró en dos rasgos de la cultura maya actual a dos mecanismos esenciales de resiliencia socio-ambiental: i) su conceptualización sagrada de la salud, de balance o equilibrio precario, aplicado de manera transescalar desde el propio cuerpo humano, la casa, el huerto y la parcela, hasta la comunidad y el mundo entero o universo; y ii) su estrategia de uso múltiple de la naturaleza que privilegia, a escala de la unidad doméstica, el aprovechamiento de toda una variedad de recursos naturales, tanto para fines de subsistencia como para su intercambio económico local y regional. Como una contribución al debate sobre la larga persistencia de la cultura maya en la península de Yucatán, se hace una revisión detallada del manejo y uso de la biodiversidad entre los mayas yucatecos contemporáneos a través de la estrategia de uso múltiple.

#### Métodos

Los datos analizados provienen de una detallada revisión de la literatura. Los mayas yucatecos son el grupo cultural más estudiado de Mesoamérica, con 576 referencias publicadas

entre 1900 y 1999 (Toledo *et al.*, 2002). Estos trabajos incluyen estudios sobre ritos, mitos, lugares sagrados y cosmogonías (143 referencias), los conocimientos mayas sobre la naturaleza (plantas, animales, suelos, hidrología, clima y otros elementos; 262 referencias) y, principalmente, sobre sus estrategias productivas (agricultura, colecta de medicamentos y alimentos, ganadería, caza, agroforestería, producción de miel y artesanías, entre otras; 497 referencias).

Con base en esa información y la recabada localmente en los últimos cinco años, se seleccionaron aquellas publicaciones que hacían referencia al uso y manejo de organismos vivos por parte de la población maya de la Península de Yucatán. Igualmente se revisaron 60 estudios de comunidades distribuidas a lo largo de la Península (Barrera-Bassols y Toledo, 2005). La Figura 1 ofrece la localización de las comunidades a las que se hace referencia. Cabe aclarar que los datos que permitieron el análisis detallado de la estrategia de uso múltiple en la comunidad de Punta Laguna, Yucatán, México, fueron derivados de la investigación de campo realizada por García-Frapolli (2006) y García-Frapolli *et al.* (2008), la que incluyó entrevistas, aplicación de encuestas por hogares, cálculos diversos en cada una de las actividades e inventarios de especies.

#### La estrategia del uso múltiple

Como ha venido sucediendo en diversas regiones campesinas e indígenas del mundo, los enfoques predominantes en la investigación se han orientado fundamentalmente a estudiar fracciones o aspectos particulares de la relación entre las sociedades humanas y los recursos naturales, mostrando una limitada capacidad para ofrecer una visión integrada de esas relaciones. El caso de los mayas yucatecos no ha sido una excepción. Los numerosos estudios dedicados a la agricultura y a los huertos familiares mayas se han realizado casi siempre sin conexión alguna con las otras modalidades de uso de sus recursos locales. Salvo algunas contribuciones (Sanabria, 1986), hasta muy recientemente se han efectuado investigaciones que intentan ofrecer una visión holística o integrada de las relaciones que se establecen entre las unidades

domésticas o las comunidades mayas y su entorno (paisajes, recursos, especies), y que proyectan esta visión en función del desarrollo local o regional (Faust, 1998, 2001; Jiménez-Osornio *et al.*, 2003; Anderson, 2005).

En contraste con lo anterior, los abordajes socioecológicos que buscan la comprensión cabal de las relaciones entre las sociedades rurales y su contexto natural han permitido precisar racionalidades y patrones entre aquellos grupos que llevan a cabo modos de apropiación de la naturaleza de carácter premoderno, preindustrial o campesino (Toledo *et al.*, 2003). En el presente caso, como en muchos otros, los mayas yucatecos adoptan también una estrategia de uso múltiple de los recursos naturales locales, permitiéndoles mantener una economía dual basada en la producción para la auto-subsistencia con porciones extraordinarias de esa producción dirigidas a los mercados. Para una discusión teórica de esta estrategia, véase Toledo (1990, 2008).

En el caso de la Península de Yucatán, esta estrategia maya de manejo múltiple está conformada por al menos 6 componentes o unidades espaciales (milpa y otros sistemas agrícolas, huerto familiar, selvas secundarias, selvas maduras, selvas manejadas y cuerpos de agua; Barrera-Bassols y Toledo, 2005; Figura 2) y su permanencia y reproducción se hace más o menos evidente en razón de las demografías locales, las limitantes ecológicas, los eventos naturales impredecibles y las fuerzas externas que influyen el devenir de cada porción del territorio, de cada comunidad y de cada hogar campesino.

En el caso de los mayas peninsulares, esta estrategia de uso múltiple ha sido descrita y analizada a la escala local por pocos autores (Sanabria, 1986; Ramírez-Baraja *et al.*, 2001; García-Frapolli *et al.*, 2008) pues la mayor parte de los investigadores se han centrado en los sistemas agrícolas (milpa) y, en menor escala, en los huertos familiares. Las siguientes secciones se dedican a: 1) describir el uso y manejo múltiple de la biodiversidad en cada una de los segmentos que integran la estrategia diversificada de producción, y 2) realizar un cálculo de la biodiversidad útil a escala comunitaria con base a la información existente.

#### La milpa y la agro-biodiversidad

El sistema agrícola de los mayas yucatecos basado en el cultivo del maíz (*Kool*), ha sido descrito y analizado en detalle por numerosos autores desde hace cinco décadas (Hernández-Xolocotzim, 1955). Por lo general, los es-

tudios sobre la milpa maya han incluido minuciosas descripciones sobre el ciclo agrícola, los principales tipos de cultivos con especial énfasis en las razas de maíz, los instrumentos de trabajo, sus rendimientos y productividades y sus restricciones y virtudes.

De la abundante literatura sobre el tema, el detallado inventario de plantas cultivadas en las milpas de la comunidad de Xocén, realizado por Terán y Rasmussen (1994) y por Terán *et al.* (1998) ofrecen un recuento completo de la agro-biodiversidad manejada a escala comunitaria. De acuerdo con estos autores se da un manejo de 50 especies y variedades de plantas: 6 variedades locales de maíz, 6 clases de leguminosas (incluyendo tres frijoles), 8 cucurbitáceas, 9 tipos de chile (Iik), 7 clases de jitomates (P'aak), 7 tubérculos y camotes comestibles y otras más. Este catálogo de especies y variedades sintetiza varios miles de años de selección, adopción, adaptación y domesticación, de plantas a las condiciones edáficas, climáticas y ecológicas de la Península de Yucatán, y a cada una de sus comunidades mayas (Pohl *et al.*, 1996; Colunga-Garcíaamarín y Zizumbo, 2004), constituyendo un patrimonio cultural de valor mundial.

#### Los huertos familiares

Otro de los sistemas productivos más estudiados de los mayas peninsulares ha sido el huerto familiar, con

investigaciones realizadas en unas 40 comunidades. Estos estudios han variado en intensidad de tal suerte que pueden distinguirse dos tipos de investigaciones: 1) las dedicadas a realizar un análisis comparativo entre varios sitios (Caballero, 1992; Ruenes *et al.*, 1995; Jiménez-Osornio *et al.*, 1999) lo cual supone inventarios generales obtenidos de una sola muestra en el tiempo, y 2) las que se concentran en una sola comunidad logrando documentar con más detalle su composición a lo largo de un ciclo anual (Herrera-Castro *et al.*, 1993; Ortega *et al.*, 1993).

Los huertos familiares mayas se localizan alrededor de las casas y por lo común tienen una superficie de 500-2000m<sup>2</sup> con un máximo de 5000m<sup>2</sup> (Caballero, 1992). En estos huertos se cultiva, tolera y maneja una gran cantidad de especies de plantas, principalmente de árboles y arbustos y animales domésticos tales como cerdos, gallinas, guajolotes, patos y colonias de abejas que son fundamentales en la alimentación familiar. De acuerdo con los estudios publicados, el número de especies de plantas por huerto varía según las diferentes regiones yucatecas entre 50 y 100 especies.

A escala de la comunidad, estos estudios sugieren un promedio de 100-200 especies, aunque los dos inventarios más detallados, realizados en Chunchucmil (Ortega *et al.*, 1993) y en Xuilub (Herrera-Castro *et al.*, 1993) arrojan 276 y 387 especies, respectivamen-

te. En el que posiblemente es el análisis cuantitativo más detallado, Rico-Gray *et al.*, (1990) hallaron cifras muy semejantes en los huertos de las comunidades Tixpeual (N=20) y Tixcaltuyub (N=22); en un área de 45265m<sup>2</sup> y 40150m<sup>2</sup>, respectivamente, registraron 5651 y 5603 plantas correspondientes a 135 y 133 especies.

La flora de los huertos se utiliza generalmente como alimento, para usos medicinales, ornamentales y como leña, aunque también destaca como fuente de néctar y polen para las abejas nativas e introducidas y, en menor medida, para la construcción de casas, herramientas y forraje. Se estima que un 80% de las especies de los huertos mayas proviene de la flora nativa y que el restante 20% corresponde a especies introducidas durante la conquista española (Barrera, 1980). Un estudio acerca del papel de los huertos familiares en la alimentación maya reveló su importancia como proveedor de 11% de la energía, 10% de la proteína, 47% de la grasa, 55% de la vitamina A, 73% de la vitamina C y porcentajes menores de vitamina B y minerales en la dieta familiar proporcionada por especies animales y vegetales (Stuart, 1993).

#### La apicultura y la meliponicultura

La Península de Yucatán ha sido una región notable como productora de miel, siendo que las comunidades mayas han realizado esta práctica desde tiempos inmemoriales. Durante varias décadas, México fue el primer país productor de miel del mundo y la Península de Yucatán su principal zona de abasto, y aún hoy esta región proporciona el 40% de la miel producida en el país.

El aprovechamiento maya del trabajo de las abejas se remonta al manejo prehispánico de la abeja sin agujijón (Xunan-kab; *Melipona beecheii*) práctica aún vigente aunque seriamente amenazada (Villanueva *et al.*, 2005) y ha continuado durante largo tiempo con la abeja europea (*Apis mellifera*), hoy africanizada. Esta larga tradición mielera es probable que haya surgido y se asiente en el refinado conocimiento maya sobre el gran potencial melífero y polínifero de la flora regional y, por supuesto, de los saberes locales acerca del manejo de la abeja.

En efecto, los inventarios sobre la flora melífera de la Península de Yucatán arrojan un alto número de especies, unas 370 según el catálogo realizado por Souza-Novelo (1940), siendo la segunda categoría de uso en importancia de toda la flora regional, tras las de uso medicinal (Arellano-Rodríguez *et al.*, 2003) y contribuyendo con el 40% (109 especies) de todas las leguminosas (Flo-

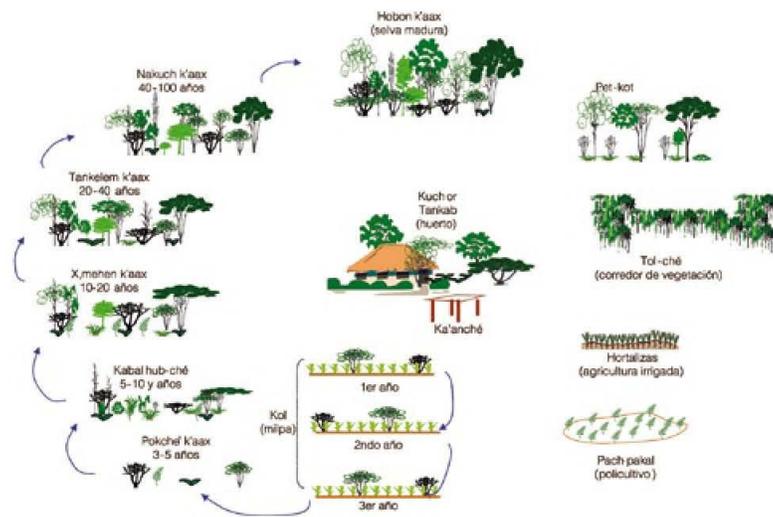


Figura 2. Esquema de la estrategia de uso múltiple adoptada por las familias Mayas Yucatecas. La estrategia que supone un manejo agroforestal incluye la milpa (Kol), que por lo común permite tres ciclos agrícolas en promedio antes de ser abandonada, las diferentes etapas de regeneración de la selva, las selvas maduras, sistemas forestales manejados (como el Pet-kot y el Tolché), el huerto familiar y otros sistemas agrícolas. La caza, recolección, extracción de leña, apicultura y meliponicultura se realizan tanto en la milpa como en las áreas bajo restauración de las selvas.

TABLA I  
SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN DE LOS ESTUDIOS SOBRE LA CACERÍA EN COMUNIDADES MAYAS

Científico	Nombres			X-Hazil	Sinanche	Ávila-Camacho	Petcacab	Tres Reyes	Árbol de Alacrán	(Cuatro comunidades*)	Frec.
	Maya	Español	Inglés								
<b>Mamíferos</b>											
<i>Orthogomys hispidus</i>	–	tuza	pocket gopher	9,0	–	–	–	–	–	–	1
<i>Dasyprocta punctata</i>	tsu'ub	sereke	agouti	8,0	–	21	6	1,2	–	5	5
<i>Agouti paca</i>	jaleb	tepes-cuintle	paca	6,0	0,73	27	22	8,2	0,72	30,3	7
<i>Nasua narica</i>	ch'i'ik ch'we	tejón	coati	28,5	5,1	11	25	26,9	5,1	5,6	7
<i>Dasyopus novemcinctus</i>	–	armadillo	armadillo	–	–	10	2	–	–	3,6	3
<i>Tayassu pecari</i>	kitam	puerco de monte jahuilla	white-lipped peccary	0,51	–	–	–	–	–	1,9	2
<i>Pecari tajacu</i>	kitam	jabalí	collared peccary	6,8	0,73	14	20	32,7	0,72	11,5	7
<i>Mazama americana</i>	–	temazate	brocket deer	2,7	–	3	5	1,8	–	12,6	5
<i>Odocoileus virginianus</i>	keh	venado cola blanca	white-tailed deer	4,1	67,6	11	11	5,3	67	9,6	7
<i>Tamandua mexicana</i>	–	oso hormiguero	ant bear	–	0,73	–	–	–	0,72	–	2
<i>Felis wieddi</i>	–	tigrillo	wild cat	–	2,2	–	–	–	2	0,45	3
<i>Felis pardalis</i>	–	ocelote	ocelot	–	–	–	–	1,2	–	0,14	2
<i>Procyon lotor</i>	–	mapache	raccoon	–	–	–	–	–	–	0,45	3
<i>Panthera onca</i>	–	jaguar	jaguar	–	–	–	–	–	–	0,14	1
<i>Potos flavus</i>	–	mico de noche	kinkajou	–	–	–	–	–	–	0,45	3
<b>Aves</b>											
<i>Cyrtorellus cinnamomeus</i>	–	perdiz	thicket tinamou	2,2	–	–	–	–	–	–	1
<i>Croax rubra</i>	–	hocofai-sán	great curassow	2,2	–	3	8	5,3	3	13,5	5
<i>Ortalis vetula</i>	ixbach baach	chachalaca	plain chachalaca	11,4	–	–	–	–	–	0,45	2
<i>Agriocharis ocellata</i>	kuts	pavo de monte	ocellated turkey	1	16,1	17,5	1	17,5	16	3,6	6
<i>Colinus nigrogularis</i>	–	codorniz yucateca	yucatec quail	–	4,4	–	–	–	4,3	–	2
<i>Penelope purpurascens</i>	–	pava crestada	crested guan	–	–	–	–	–	–	0,45	3
<i>Odontophorus guttatus</i>	–	codorniz cantora	Spotted wood-quail	–	–	–	–	–	–	0,14	1
<b>Reptiles</b>											
<i>Ctenosaura sp.</i>	ya'ax ikil t'ool	iguana	black iguana	–	0,73	–	–	–	0,72	–	2
<i>Crocodylus moreletii</i>	a'ayin kum ayim	cocodrilo de pantano	morelet's crocodile	–	1,4	–	–	–	1,4	–	2

Las cifras indican porcentajes dentro del total de especies capturadas.

\* 20 de noviembre, Cristóbal Colón, Echevarría II y Once de Mayo.

Fuentes: Jorgenson, 1998; Montiel-Ortega *et al.*, 1999; Escamilla *et al.*, 2000; Quijano-Hernández y Calmé, 2002; Ávila-Gómez, 2003

res-Guido, 2001) y en cantidades notables a escala de la comunidad: 103 especies en La Montaña, Campeche (Porter-Bolland, 2003) y 87 especies en Tixcacaltuyub, Yucatán (Rico-Gray *et al.*, 1991).

La gama de conocimientos históricos que implica esta práctica incluye la selección de sitios apropiados para el establecimiento de apiarios y los periodos de floración de las especies melíferas, así como la calidad y cantidad de sus néctares y su ubicación en los diferentes tipos de vegetación. Ello incluye sus estados sucesionales, los ciclos de floración colectiva por unidad de vegetación y su variación en relación al clima (temperatura y lluvias), y su respuesta a fenómenos inesperados o catastróficos (huracanes, sequías e incendios) y al manejo de abejas y apiarios (Chemas y Rico-Gray, 1991; Porter-Bolland, 2003).

#### La extracción y recolección

Como consecuencia de la dinámica agrosilvícola que combina parches dedicados a la producción agrícola con parches selváticos en "descanso", los paisajes yucatecos por lo común con-

forman mosaicos forestales de diferentes edades (selvas secundarias) que siguen el proceso de regeneración, así como selvas maduras, corredores de vegetación como el *Tolché* (Remmers y Koeijer, 1992) y selvas manejadas como el *Pet Kot* (Gómez-Pompa *et al.*, 1987), todas las cuales operan como recursos para la recolección y extracción, además de ser fuentes de alimentos para las especies animales objeto de la cacería y para la producción de miel (abejas nativas e introducidas).

De los mosaicos forestales se obtiene, por lo tanto, toda una gama de productos: leña, alimentos, medicinas, materiales para la construcción de la casa y muebles, materiales para instrumentos y herramientas, exudados y otros. Se estima que las familias de una comunidad obtienen entre 100 y 250 especies útiles de sus áreas forestales por medio de la extracción y recolección; las cifras oscilan entre 111 especies en Tixcacaltuyub y Tixpehua (Rico-Gray *et al.*, 1991), 152 especies en Xuilub (Sánchez-González, 1993) y 248 en Petcacab (Ramírez-Barajas *et al.*, 2001). De especial importancia es la leña, que sirve como principal fuente de energía para la fami-

lia campesina. Sánchez-González (1993) estimó que cada familia maya utiliza unas 4ton de leña al año.

#### La cacería

No obstante su importancia histórica como recurso fundamental de proteína animal en la dieta de los mayas antiguos y registros sobre la caza en la Península de Yucatán desde hace unos 4000 años (Jorgenson, 1998), la cacería entre los mayas yucatecos solo fue estudiada con detalle recientemente. Existen estudios sobre esta práctica en al menos 12 comunidades (Jorgenson, 1998; Montiel-Ortega *et al.*, 1999; Escamilla *et al.*, 2000; Quijano-Hernández y Calmé, 2002; Ávila-Gómez, 2003) de tres regiones (Figura 1), las cuales revelan patrones interesantes en cuanto a las especies preferidas, su abundancia y distribución, la cantidad de carne obtenida, la magnitud del esfuerzo y otros factores.

Del análisis comparativo de estos estudios (Tabla I) se concluye que actualmente las comunidades mayas utilizan hasta 24 especies como presas de caza (15 especies de mamíferos, 7 de aves



y 2 de reptiles), las cuales se pueden dividir en especies frecuentemente cazadas y especies ocasionalmente capturadas. Entre las primeras están dos especies de venados, dos roedores (agouti y tepezcuintle), el jabalí y el tejón entre los mamíferos, y el pavo de monte y el hoco faisán, entre las aves. Comúnmente estas especies aportan ~80% de los individuos cazados. Otra distinción interesante proviene de la biomasa aportada por cada presa medida en función de su peso. En este caso se pueden distinguir presas con peso  $\geq 14$ kg y presas con  $\leq 8$ kg (Escamilla *et al.*, 2000). El cálculo del número de presas tomadas por unidad de tiempo por la biomasa específica, permite estimar la ingesta de proteína animal proveniente de esta actividad por unidad familiar o comunidad. Finalmente, contrariamente a lo supuesto, la cacería se lleva a cabo no solo en las áreas forestales de diferentes edades que conforman los mosaicos de paisajes (selvas secundarias, maduras y manejadas) sino también en las áreas cultivadas (milpas), pues la mayoría de las especies de caza son visitantes ocasionales, regulares o frecuentes de esas áreas (Valdivia, 1994). Esta situación resulta similar a lo encontrado en otras regiones neotropicales, donde la cacería de las comunidades indígenas se realiza tanto en las selvas maduras o primarias como en la vegetación secundaria que aparece cuando se dejan en descanso las áreas agrícolas, así como en las mismas parcelas dedicadas a la agricultura. Esta estrategia conocida como "caza en jardines" (*garden hunting*; Linares, 1976), cumple la función de proteger los cultivos de las "plagas" animales, disminuye la presión sobre la fauna de las selvas y, al extraer proteína animal de los mosaicos de paisajes, conforma una actividad complementaria dentro del juego del uso múltiple (Smith, 2005).

#### La pesca

Esta actividad solo existe donde el tamaño y la profundidad de los cuerpos de agua (cenotes, lagunas y aguadas) permiten la existencia de una fauna acuática temporal o permanente. Los escasos estudios sobre el tema reportan el uso de hasta 14 especies de peces, tortugas y cocodrilos, como en Petcacab, Quintana Roo (Ramírez-Barajas *et al.*, 2001).

#### La biodiversidad útil a escala comunitaria

Aunque existe una gran variación ambiental a lo largo y ancho del área cultural de los mayas yucatecos debido a un gradiente de humedad sur-norte, a la cercanía a las costas y a la presencia de cuerpos de agua, es posible ofrecer da-

TABLA II  
ESTIMACIÓN DEL NÚMERO MÍNIMO, MÁXIMO Y PROMEDIO DE ESPECIES UTILIZADAS POR LOS MAYAS YUCATECOS EN SUS PRINCIPALES ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

	Biodiversidad útil		
	Mínima	Máxima	Promedio
Milpa <sup>a</sup>	20	50	35
Huertos familiares	50	387	100-150
Apicultura y meliponicultura <sup>b</sup>	35	103	60-80
Extracción y recolección	50	248	100-250
Caza	8	18	10-12

<sup>a</sup> Incluye otras áreas agrícolas como el *pach-pakal*.

<sup>b</sup> Se refiere al número de especies melíferas.

tos generales o promedios del número de especies vegetales y animales utilizados a escala comunitaria.

Una síntesis de los datos reportados en varios estudios para las principales prácticas productivas y sistemas de producción aparece en la Tabla II. De las cifras se puede concluir que la puesta en práctica de la estrategia de uso múltiple arroja el uso y manejo de 300-500 especies por comunidad. La mayor parte proviene de huertos familiares y de la extracción y recolección forestales. Esta estimación coincide con los números ofrecidos por Ramírez-Barajas *et al.* (2001) para la comunidad de Petcacab y los de Anderson (2005) para Chunhuhub, ambas en Quintana Roo, de un total de 383 y más de 400 especies, respectivamente. El panorama que emerge es el de una biodiversidad útil a partir de la cual las fami-

lias y comunidades mayas logran satisfacer necesidades básicas de alimentación, energía, materiales y salud (Figura 3).

#### Implicaciones económico-ecológicas del uso múltiple

El uso de la geo-agro-biodiversidad es una expresión de la implementación de la estrategia del uso múltiple y ésta, a su vez, responde a una racionalidad tanto ecológica como económica (Toledo, 1990). El análisis monetario que resulta de la puesta en práctica de esta estrategia revela por lo tanto aspectos de interés tales como 1) la distribución anual del esfuerzo (medido en tiempo de trabajo) que los productores dedican a cada actividad, 2) la proporción de los bienes y servicios dirigidos tanto para la autosubsistencia como para el mercado,

TABLA III  
CÁLCULO DEL ESFUERZO INVERTIDO\* Y DE LOS BIENES Y SERVICIOS OBTENIDOS\*\* PARA LAS 13 ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA COMUNIDAD DE PUNTA LAGUNA, QUINTANA ROO

Actividad	Jornales invertidos		Valor Monetario						Ingresos / Jornales invertidos
	Jornales	%	Total		Autosubsistencia		Mercado		
			\$	%	\$	%	\$	%	
Milpa	122,8	22,7	9167	29,0	9167	62,3	0	0,0	74,6
Huerto	98,8	18,3	1737	5,5	1737	11,8	0	0,0	17,6
Apicultura	17,3	3,2	2750	8,7	0	0,0	2750	16,2	159,0
Extracción de leña	22,3	4,1	2284	7,2	2284	15,5	0	0,0	102,4
Caza	6,3	1,2	341	1,1	279	1,9	62	0,4	54,1
Ganadería	9,2	1,7	164	0,5	164	1,1	0	0,0	17,8
Producción de carbón	55,7	10,3	2083	6,6	0	0,0	2083	12,3	37,4
Madera para construcción	5,3	1,0	1058	3,3	1058	7,2	0	0,0	199,6
Trabajo temporal	50,9	9,4	4212	13,3	0	0,0	4212	24,9	82,8
Artesanía	99,5	18,4	2364	7,5	0	0,0	2364	14,0	23,8
Ecoturismo	26,8	5,0	3435	10,9	0	0,0	3435	20,3	128,2
Asistencia científica	24,5	4,5	2018	6,4	0	0,0	2018	11,9	82,4
Pesca	0,6	0,1	28	0,1	28	0,2	0	0,0	46,7
Total	540,0	100,0	31641	100,0	14717	100,0	16924	100,0	78,9
Porcentaje			100%		46,5%		53,5%		

\* Número de jornales al año. \*\* Valor monetario en pesos al año. Para detalles metodológicos véase García-Frapolli (2006).

3) el valor monetario de cada práctica, y 4) la eficiencia productiva calculada como la relación entre trabajo invertido y el flujo de retorno medido en valor monetario.

Para el caso de los mayas yucatecos, un estudio realizado en la comunidad de Punta Laguna, Yucatán (García-Frapolli, 2006; García-Frapolli *et al.*, 2008) revela ciertos patrones interesantes. La comunidad estudiada está integrada por tres asentamientos, 44 familias y 235 habitantes que se apropian una superficie de ~5400ha y realizan un total de 13 actividades productivas (Tabla III), mediante las cuales obtienen diferentes recursos, consumen, transforman y venden bienes obtenidos de éstos, ofrecen servicios (ecoturismo y apoyo de campo a programas de investigación científica) y contratan, de manera temporal, su fuerza de trabajo fuera de la comunidad. Aunque no existe un inventario completo de su biodiversidad útil, el número de especies vegetales y animales que arroja el censo sobre los huertos familiares de la comunidad (137 especies), sitúa a Punta Laguna dentro del promedio esperable en cuanto al uso y manejo de la flora y fauna locales.

Entre los resultados más destacables de esta investigación resalta que, en promedio, la comunidad invierte la mitad de su esfuerzo (46,5% del trabajo realizado durante el año) a generar bienes para la autosubsistencia y la otra mitad (53,5%) para producir bienes y otorgar servicios o fuerza de trabajo para el mercado (Tabla III). De las 13 actividades que las familias de la comunidad realizan, cinco de ellas constituyen el 80% del trabajo invertido. Las dos actividades dirigidas totalmente a la autosubsistencia, alcanzan juntas casi la mitad del esfuerzo total y casi la totalidad del trabajo es dedicado al autoconsumo: la milpa, que recibe una cuarta parte del trabajo invertido anualmente y el huerto con un 20%. Como contraparte, tres actividades que conforman casi el 40% del trabajo invertido son volcadas al mercado:

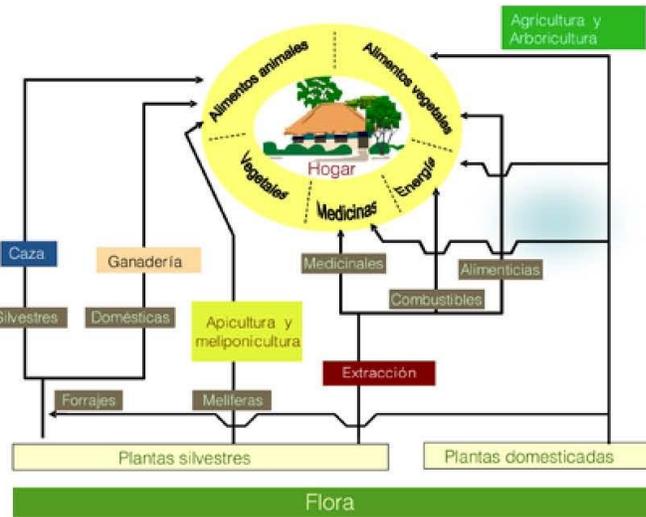


Figura 3. Flujos de satisfactores obtenidos por las comunidades mayas de la Península de Yucatán a partir de la biodiversidad local.

la producción de artesanías y carbón, y la venta de trabajo (Figura 4).

Cuando se calcula el flujo de retorno, medido en términos monetarios en función del valor económico de los bienes y servicios producidos, cinco actividades (milpa, venta de trabajo, ecoturismo, apicultura y artesanías) alcanzan el 70% del valor total. Una vez más, la milpa genera el 30% del flujo de retorno y las otras cuatro actividades (apicultura, artesanías, ecoturismo y venta de trabajo) el otro 40% (Figura 4), revelando la importancia de dichas actividades. El análisis de los flujos monetarios permite contextualizar la biodiversidad útil dentro del juego económico a escala familiar, ponderar la importancia de cada actividad en la reproducción de la unidad doméstica y entender las restricciones, fortalezas y potencialidades de la

el elevado número de especies de la flora y fauna de la Península de Yucatán que son empleados y manejados, además de nombrados y clasificados, a través de las diferentes prácticas productivas que integran la estrategia del uso múltiple.

El panorama mostrado por estos datos sugiere la necesidad de comprender integralmente el manejo maya de los recursos en vez de reducir los análisis a las prácticas agrícolas. En efecto, durante los últimos 50 años ha habido una reiterada tendencia a plantear las dimensiones del desarrollo en esta área cultural de Mesoamérica, como una problemática meramente agrícola y, más específicamente, de intensificación de la agricultura (Hernández-Xolocotzim, 1955; Ewel, 1984; Ewel y Merrill-Sands, 1987; Hernández-Xolocotzim *et al.*, 1995), cuando la estrategia maya no gira alrededor de una, sino de varias prácticas productivas cuya intensificación depende no solo de factores como la demografía sino, cada vez más, de la gama de oportunidades mercantiles existentes y del acceso a los nuevos mercados.

Los datos presentados comprueban la hipótesis planteada hace tres décadas por Barrera *et al.* (1977) y desarrollada en los años siguientes por Gómez-Pompa y otros autores (Gómez-Pompa, 1987a, b, 2003;

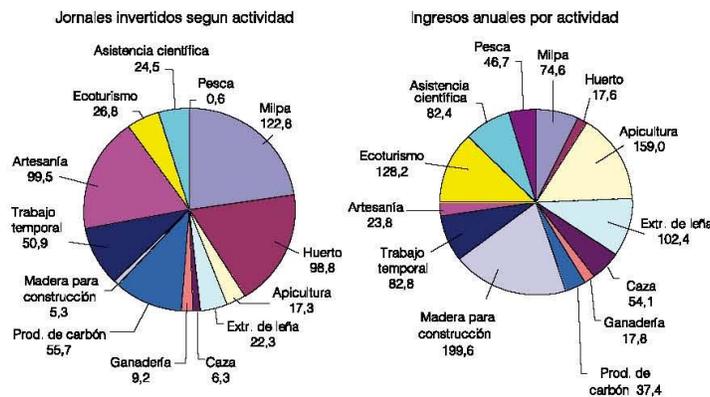


Figura 4. Porcentaje de jornales invertidos anualmente e ingresos anuales obtenidos (las cifras indican ingresos/jornales invertidos) en cada una de las actividades productivas de la comunidad de Punta Laguna, Yucatán.

estrategia del uso múltiple en contextos específicos. Como ha sido mostrado en otros casos (Toledo *et al.*, 2003), en las regiones tropicales de México, la estrategia campesina del uso múltiple constituye pieza clave para el diseño de cualquier iniciativa o política dirigida a lograr un desarrollo local, comunitario o regional sustentable.

## Discusión

Las evidencias examinadas confirman la estrecha relación que existe entre la cultura maya yucateca y la diversidad biológica de su entorno, expresada por



Gómez-Pompa *et al.*, 1987; Gómez-Pompa y Kaus, 1999) acerca de que la larga presencia de la civilización maya en Yucatán es resultado de un complejo y diferenciado manejo agrosilvícola, lo que implica no solamente el uso de numerosas especies y hábitat sino la creación y manejo de mosaicos de paisajes (Feddick, 1996).

Todo lo anterior refleja una fina percepción del entorno y actuación por parte de la cultura maya, perfeccionada y acumulada a lo largo de 3000 años en, por lo menos, cuatro escalas: la de las especies silvestres (escala biológica), la de las especies domesticadas o en proceso de serlo (escala agronómica), la de las masas de vegetación (escala ecológica) y la de los paisajes (escala geográfica). Ello implica un manejo multiescalar de procesos espaciotemporales con el objeto de mantener, acrecentar y perfeccionar sinergias que garanticen la resiliencia del sistema socioecológico (Barrera-Bassols y Toledo, 2005), única manera de mantener la existencia recíproca de cultura y recursos a lo largo del tiempo.

Los mosaicos de paisajes (heterogeneidad temporoespacial) serían entonces el resultado más tangible del mantenimiento, uso y manejo de la geo-agrobiodiversidad y de las masas de vegetación. En esta tercera escala, de carácter geográfico, el productor realizaría un complejo manejo de unidades, reconocidas y definidas con base a criterios derivados de la vegetación, los suelos, las estaciones climáticas y el relieve (Barrera-Bassols y Toledo, 2005), por medio del cual buscaría la optimización de su esfuerzo en el espacio y en el tiempo.

Cabe señalar que esta fina relación entre el universo natural representado por la biodiversidad y las comunidades mayas, es decir entre naturaleza y cultura, que pone al descubierto la estrategia de uso múltiple, desde la perspectiva local no conforma sino una suerte de *continuum*, pues desde la visión maya los elementos naturales y los seres humanos forman parte de un solo universo.

Dado lo anterior, toda inmersión al pasado de la cultura maya debería abocarse a la revisión de la estrategia múltiple ahí donde la evidencia arqueológica y paleoecológica lo permitan, ponderando sus configuraciones, matices y fortalezas, de la misma manera que todo intento de proyección sobre el futuro de la región (el área maya yucatanense) debería construirse en base al mejoramiento, la optimización o modernización de esa estrategia múltiple, que representa la memoria ecológico-social de la cultura maya y no, como ha ocurrido hasta ahora, en

su soslayo, deterioro y supresión, explícita o no. De esta forma estaremos realmente conociendo el pasado por medio del presente, y viceversa, con el objeto de proyectar adecuadamente el futuro.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la asistencia técnica de Pedro Sergio Urquijo y el apoyo recibido por Narciso Barrera-Basols a través del proyecto PAPIIT IN306806-3 "Saberes locales y manejo de la diversidad eco-geográfica en áreas rurales de tradición indígena" de la UNAM, México.

#### REFERENCIAS

Anderson EN (2005) *Political Ecology in a Yucatec Maya Community*. University of Arizona Press. Tucson, AZ, EEUU. 279 pp.

Arellano-Rodríguez JA, Rodríguez-Rivera R, Uuh-Chi P (1992) *Glosario de terminos agrícolas Maya-Español. Etnoflora Yucatanense*, Fascículo 7, Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán, México. 48 pp.

Ávila-Gómez G (2003) *Manejo de fauna silvestre en bosques tropicales por ejidos forestales de Quintana Roo*. Tesis. Colegio de Posgraduados, México. 268 pp.

Barrera A (1980) *Diccionario maya Cordemex*. Ediciones Cordemex, Mérida, México. 39 pp.

Barrera MA, Gómez-Pompa A, Vázquez-Yañez C (1977) El manejo de las selvas por los Mayas. *Biótica* 2: 47-60.

Barrera-Bassols N, Toledo VM (2005) Ethnoecology of the Yucatec Maya: symbolism, knowledge and management of natural resources. *J. Lat. Am. Geogr.* 4: 9-40.

Boose E, Foster R, Barker Plotkin A, Hall B (2003) Geographical and historical variation in hurricanes across the Yucatán Peninsula. En Gómez-Pompa A, Allen MF, Feddick SL, Jiménez-Osornio JJ (Eds.) *The lowland Maya area*. Haworth. New York, NY, EEUU. pp. 495-516.

Caballero J (1992) The Maya homegardens of the Yucatan Peninsula: past, present and future. *Etnoecología* 1: 35-54.

Chemas A, Rico-Gray V (1991) Apiculture and management of associated vegetation by the Maya of Tixcacaltuyub, Yucatán, Mexico. *Agrofor. Syst.* 13: 13-25.

Colunga-Garcíaamán P, Zizumbo-Villareal D (2004) Domestication of plants in Maya lowlands. *Econ. Bot.* 58(Suppl.): 101-110.

Escamilla A, Sanvincente M, Sosa M, Galindo-Leal C (2000) Habitat mosaic, wildlife availability and hunting in the tropical forest of Calakmul, Mexico. *Cons. Biol.* 14: 1592-1601.

Ewell PT (1984) *Intensification of Peasant Agriculture in Yucatán*. NY State College of Agriculture. Ithaca, NY, EEUU. 233 pp.

Ewell PT, Merrill-Sands D (1987) Milpa in Yucatán. A long-fallow maize system and its alternatives in the Maya peasant economy. En Turner BL, Brush S (Eds.) *Comparative Farming Systems*. Guilford Press. New York, NY, EEUU. pp. 95-129.

Faust B (1998) *Mexican Rural Development and the Plumed Serpent*. Bergin & Garvey. Westport, CO, EEUU. 240 pp.

Faust B (2001) Maya environmental success and failures in the Yucatán Peninsula. *Env. Sci. Pol.* 4: 153-169.

Feddick SL (1966) (Ed.) *The Managed Mosaic: Ancient Maya agriculture and resource use*. University of Utah Press. Salt Lake City, UT, EEUU. 360 pp.

Flores JS (2001) *Florística, Ecología y Etnobotánica de las Leguminosas de la Península de Yucatán*. Etnoflora Yucatanense 18. Universidad Autónoma de Yucatán. México. 320 pp.

García-Frapolli E (2006) Understanding socioecological systems in natural protected areas: a look from the Yucatán Peninsula. Tesis. Universidad Autónoma de Barcelona, España. 252 pp.

García-Frapolli E, Toledo VM, Martínez-Alier J (2008) Apropiación de la naturaleza por una comunidad Maya yucateca: un análisis económico-ecológico. *Rev. Iberoam. Econ. Ecol.* 7: 27-42.

Gómez-Pompa A (1987a) On Maya silviculture. *Mex. Stud./Est. Mex.* 3: 1-17

Gómez-Pompa A (1987b) Tropical deforestation and Maya silviculture: an ecological paradox. *Tulane Stud. Zool. Bot.* 26: 19-37.

Gómez-Pompa A (2003) Research challenges for the lowland Maya Area. An introduction. En Gómez-Pompa A, Allen MF, Feddick SL, Jiménez-Osornio JJ (Eds.) *The lowland Maya Area*. Haworth Press. New York, NY, EEUU. pp. 3-12.

Gómez-Pompa A, Kaus A (1999) From pre-Hispanic to future conservation alternatives: lessons from Mexico. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 96: 5982-5986.

Gómez-Pompa A, Allen MF, Feddick SL, Jiménez-Osornio JJ (1997) (Eds.) *The lowland Maya Area*. Haworth Press. New York, NY, EEUU. 659 pp.

Hernández-Xolocotzim E (1955) La agricultura. En Beltrán E (Ed.) *Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento*. Vol. 3. IMRNR. México. pp. 3-59.

Hernández-Xolocotzim E, Bello E, Levy-Tacher S (1995; Eds.) *La Milpa en Yucatán: un sistema agrícola tradicional*. Colegio de Postgraduados. México. pp. 171-199.

Herrera-Castro ND, Gómez-Pompa A, Cruz Kuri L, Flores JS (1993) Los huertos familiares mayas en X-uilub, Yucatán, México: aspectos generales y estudio comparativo entre la flora de los huertos familiares y la selva. *Biótica* 1: 19-36.

Jiménez-Osornio JR, Ruénes-Morales M, Montañez-Escalante P (1999) Agrobiodiversidad de los solares de la península de Yucatán. *Red-Gestión Rec. Nat.* 14: 30-40.

Jiménez-Osornio JR, Caballero A, Quezada D, Bello-Baltazar E (2003) Estrategias tradicionales de apropiación de los recursos naturales. En Colunga-Garcíaamán P, Larqué-Saavedra A (Eds.) *Naturaleza y Sociedad en el Área Maya*. Academia Mexicana de Ciencias / Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán, México. pp. 189-200.

Jorgenson JP (1998) The impact of hunting on wildlife in the Maya Forest of Mexico. En: Primack RB, Bray D, Galletti HA, Ponciano I (Eds.) *Timber, Tourists and Temples: Conservation and Development in the Maya Forest of Belize, Guatemala and Mexico*. Island Press. Covelo, CA. EEUU. pp. 179-193.



# Lombricoltura

## Metagenómica de suelos: grandes desafíos y nuevas oportunidades biotecnológicas

### Soil Metagenomics: new challenges and biotechnological opportunities

Hernández-León R, I Velázquez-Sepúlveda, MC Orozco-Mosqueda, G Santoyo

**Resumen.** El suelo es un sistema complejo que alberga una gran cantidad y diversidad de microorganismos. Hasta hace poco, sólo se podía tener acceso al estudio de un pequeño porcentaje de la microbiota que habita en este ecosistema. Actualmente, con la metagenómica se ha logrado conocer y estudiar en más detalle todo ese material genómico desconocido. Se han descubierto nuevas moléculas con aplicaciones biotecnológicas y se ha profundizado en entender mejor las diferentes interacciones microbiológicas en diversos ambientes, algunos con características extremas. En este ensayo se analizaron los trabajos más recientes en el área de la metagenómica, con énfasis en aquellos relacionados con el suelo. Asimismo, se describen los logros alcanzados por el proyecto Metacontrol (metagenómica de suelos supresores de enfermedades), y finalmente, proponemos los diferentes desafíos que ha de superar la metagenómica, así como las nuevas oportunidades biotecnológicas que surgen con esta nueva ciencia.

**Palabras clave:** Metagenómica; Suelo; Microorganismos.

**Abstract.** Soil is a complex system that includes a great number and diversity of microorganisms. Until recently, only a small percentage of the bioma was known and could be studied. Currently, it is possible to have a deeper knowledge of all that unknown genomic material with the development of new tools, like metagenomics. New molecules have been discovered with various biotechnological applications, and knowledge of the diverse microbiological interactions in several environments, some of them with extreme life conditions, is much higher. We analyze the most recent literature in the field of metagenomics in this study, especially that related with the soil. Achievements of the Metacontrol project (metagenomics of disease-suppressive soils) are also described. We finally propose various challenges to be overcome in metagenomics, and new biotechnological opportunities emerging with this new science.

**Keywords:** Metagenomics; Soil; Microorganisms.

## INTRODUCCIÓN

La metagenómica es una ciencia que surge como una rama de las ciencias genómicas, la cual se refiere al estudio del metagenoma de un nicho en particular (Handelsman, 2004; Riesenfeld et al., 2004). El metagenoma se puede definir como el total de ADN de una muestra ambiental. Hasta el momento, se han investigado metagenomas de diversos ambientes, incluyendo ecosistemas acuáticos, minas, suelos agrícolas y forestales, entre otros (Rondon et al., 2000; Wang et al., 2000; Lee et al., 2004; Tyson et al., 2004; Craig et al., 2009). Lo relevante de estos estudios es que cada uno de ellos ha mostrado diferentes aspectos para estudiar y analizar. En algunos casos, se han descubierto novedosos elementos genéticos que podrían tener aplicación en la industria (Rondon et al., 2000; Wang et al., 2009), mientras que en otros, han aportado novedosos aspectos de la ecología microbiana en un ecosistema en particular (Tyson et al., 2004).

Mediante técnicas convencionales de cultivo en laboratorio se ha estudiado la diversidad microbiana y sus metabolitos. En particular, se ha propuesto que entre 80-90% de los microorganismos que habitan el suelo son desconocidos (Alexander 1977). Esto representa una limitante para descubrir el verdadero potencial genético de estos sistemas. Al estudiar el metagenoma de un ambiente en particular, es muy probable que este consista en gran parte de bacterias u otros organismos no cultivables; sólo conocemos una pequeña proporción de éstos, los cuales podemos reproducir en condiciones de laboratorio (Handelsman 2004; Riesenfeld et al., 2004). De esta manera, el ADN metagenómico se puede clonar en vectores y expresar en diversos huéspedes procariotes, dependiendo de los objetivos del estudio (Rondon et al., 2000; Wang et al., 2000). Todo este material genético podría codificar nuevas o mejores actividades metabólicas. De la misma manera, se pueden emplear métodos de secuenciación masiva que generarán genomas completos de organismos no cultivables (Handelsman, 2004; Tyson et al., 2004).

### Metagenómica de la diversidad microbiana no cultivable

Los microorganismos son responsables de una parte importante de los ciclos biogeoquímicos, y por lo tanto, influyen significativamente en la vida terrestre. Sin embargo, nuestro conocimiento de la vida microbiana, y el papel que ésta juega en el ambiente, es todavía poco entendido. Más difícil aún es tratar de conocer la diversidad microbiana; por ejemplo, se ha estimado que existen alrededor de  $2 \times 10^6$  especies bacterianas en el ambiente marino, mientras que una muestra de suelo podría contener hasta  $4 \times 10^6$  diferentes taxa (Curtis et al., 2002). Esto indica que su estudio es un gran desafío de la microbiología actual.

Un problema obvio al que nos enfrentamos para conocer la diversidad microbiana, y en particular las bacterias, es que estas son invisibles para el ojo humano, por lo que

se han desarrollado métodos para cultivarlas en laboratorio (Handelsman, 2004).

Desafortunadamente, se estima que sólo un pequeño porcentaje (0,1 - 10%) de las bacterias son cultivables (Rondon, 1999). Esto implica que la gran mayoría de las bacterias son no cultivables, y por lo tanto, desconocidas para el ser humano. Una probable explicación es el desconocimiento de sus requerimientos nutricionales y fisiológicos para su crecimiento. Este hecho ha limitado enormemente nuestro conocimiento sobre la diversidad bacteriana. Para contrarrestar esta limitante, se han desarrollado métodos para poder aislar y amplificar el material genético de bacterias no cultivables en diferentes ambientes.

Una de las técnicas más usadas desde hace algunas décadas es la amplificación de los genes ribosomales que codifican para la subunidad 16S (ADNr 16S). Este marcador es una poderosa herramienta que ha sido ampliamente usada en clasificaciones filogenéticas, debido a que su secuencia es altamente conservada (Woese y Fox, 1977; Pace et al., 1986; Woese, 1987). La amplificación de los ADNr 16S se realiza por medio de la reacción en cadena de la polimerasa o PCR, por sus siglas en inglés, empleando oligonucleótidos o primers específicos. Esto se realiza para amplificar los ADNr 16S de bacterias u otros grupos como arqueobacterias. En el caso de organismos eucariontes, se emplean las secuencias ADNr 18S (Baker et al., 2003). Los 16S posteriormente se pueden clonar en vectores o plásmidos. Dichos vectores son transferidos a bacterias huésped como *Escherichia coli*, para crear bibliotecas o bancos de clonas, conteniendo las secuencias ADNr 16S de diversos microorganismos de forma separada. Esto permite el análisis individual de cada una de las secuencias clonadas utilizando diversos métodos, tales como secuenciación, restricción de los 16S ribosomales con nucleasas (ARDRA), etc. (Escalante-Lozada et al., 2004).

De esta manera, miles de secuencias de ADNr 16S de diversos microorganismos, cultivables y no cultivables, son reportadas a las bases de datos como el GenBank del National Center for Biotechnology Information (NCBI), y el Ribosomal Database Project (RDP), cuya información crece continuamente. Asimismo, se ha informado el descubrimiento de nuevos grupos taxonómicos a través de los ADNr 16S usando la amplificación de secuencias de organismos no cultivables obtenidas de ADN ambiental (Hugenholtz y Pace, 1996; Huber et al., 2002). Actualmente, un gran porcentaje de los genes 16S eubacterianos que se han reportado, corresponden a bacterias que no se han podido cultivar en laboratorio. La situación es más drástica en el caso de arqueobacterias, debido a que se las puede encontrar en ambientes extremos, con altas temperaturas, bajos pHs, metales pesados, concentraciones salinas, etc. Incluso, la división Korarquiteota (o Korarchaeota) contiene únicamente secuencias ribosomales sin alguna especie cultivable hasta el momento (Birtrim et al., 1997; Garrett y Klenk, 2007). Sin embargo, cabe destacar que existe un gran

esfuerzo internacional por secuenciar genomas completos de organismos no cultivables. Esto aportará un mayor conocimiento de su fisiología y probablemente se podrán establecer condiciones en laboratorio para su cultivo.

### Estrategias y métodos para la construcción de bibliotecas metagenómicas

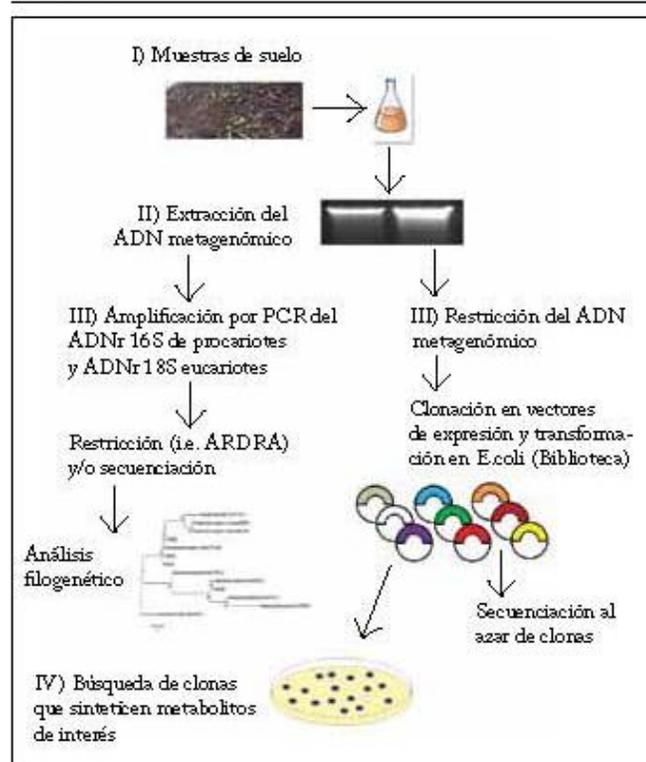
La metagenómica estudia el total del ADN que podemos encontrar en un nicho específico. Para acceder a este metagenoma se han desarrollado diferentes metodologías y vías para su análisis. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de un estudio metagenómico con una estrategia general y siguiendo los pasos básicos en la investigación: (I) Se colecta la muestra de interés; (II) se aísla el ADN metagenómico (en estudios de metagenómica funcional se puede aislar ARN); (III) el metagenoma puede tomar tres vías: a) aislamiento por PCR de los 16S para conocer la diversidad bacteriana (o de otras divisiones como arqueas o eucariotes) del metagenoma, b) digestión y clonación en vectores de expresión, y/o c) secuenciación directa de la muestra. En el paso final, (IV) se analizan las clonas en busca de actividades de interés. Estos son los pasos esenciales para la construcción de bibliotecas metagenómicas, lo cual puede resultar rutinario en algunos laboratorios; sin embargo, el aislamiento de ADN metagenómico de algunos suelos, con una pureza suficiente como para ser usado como templado en reacciones de PCR, digestión y clonación, puede ser complicado. Algunos suelos pueden contener una gran cantidad de ácidos húmicos o metales pesados, los cuales pueden inhibir la actividad de ADN polimerasas o nucleasas (Tsai et al., 1992). Debido a esto, se recomienda emplear diversos protocolos o kits comerciales específicos para cada tipo de suelo que mejoren la pureza del ADN metagenómico, así como el uso de ADN polimerasas modificadas que pueden polimerizar reacciones en presencia de compuestos inhibidores (Kermekchiev et al., 2009).

### Metagenómica de diversos ambientes

El conocimiento del metagenoma de un ambiente en particular puede permitirnos conocer diversos aspectos de la vida microbiana que allí se está generando, genes que se expresan bajo esas condiciones ambientales, o quizás, las diferentes interacciones ecológicas de ese nicho particular. Persiguiendo estos objetivos se ha investigado el metagenoma de ambientes muy diversos. Por ejemplo, Venter y colaboradores (2004) secuenciaron más de un billón de pares de bases de ADN del mar Sargasso. Los autores reportan el descubrimiento de alrededor de 1800 especies genómicas; 1,2 millones de nuevos genes y más de 700 genes nuevos tipo rodopsina (Venter et al., 2004). Martín-Cuadrado y colegas (2007) también publicaron otro trabajo sobre metagenómica de ambientes marinos. Ellos aislaron el metagenoma y construyeron una biblioteca del mar Mediterráneo a 3.000 m de profundidad. Asimismo, analizaron la diversidad bacteriana

Fig. 1. Protocolo general de análisis del metagenoma de una muestra de suelo. En un primer paso se aísla el suelo que se desea estudiar (I) y se extrae el ADN metagenómico (II). Posteriormente se puede analizar la diversidad microbiana a través de la amplificación de los genes ribosomales 16S y/o llevar a cabo la restricción del ADN, así como su clonación en vectores (III). Finalmente se realiza la búsqueda de funciones o actividades enzimáticas (IV).

Fig. 1. Diagram showing the metagenomics analysis of a soil sample. (I) Soil isolation for study. (II) Extraction of metagenomics DNA. (III) Analysis of the microbial density through amplification of ribosomal genes 16S and/or DNA restriction, or its cloning in vectors. (IV) Search for enzymatic functions or activities.



por medio de la secuenciación de los 16S, encontrando que el grupo más abundante fue el de rizobiales, dentro de las alfaproteobacterias, seguido de bacterias gram-positivas, actinobacterias y firmicutes. Del grupo de las arqueas, el genoma de *Cenarchaeum symbiosum* fue el que presentó mayor proporción. Algunos otros planctomycetes fueron también reportados, tales como *Blastopirellula marina* y *Rhodopirellula báltica*, los cuales son organismos comunes de océanos oligotróficos. En el análisis de la biblioteca metagenómica reportaron la presencia de altos porcentajes de genes que codifican para deshidrogenasas, tales como algunos genes *cox*. Esto sugiere que la oxidación del monóxido de carbono podría ser una fuente importante de energía en aguas marinas profundas (Martín-Cuadrado et al., 2007).

Por medio de la metagenómica también es posible la reconstrucción de genomas completos a partir de organismos no cultivables o desconocidos. Tal es el caso del estudio realizado

en la Mina Richmond de California, donde se encontró una limitada diversidad microbiana, principalmente por los géneros bacterianos *Leptospirillum*, *Sulfobacillus* y *Acidimicrobium*, además de una especie bacteriana, *Ferroplasma acidarmanus*. Cabe destacar que el pH de la mina era de 0 a 1, contenía altos niveles de Fe, Zn, Cu y As, el agua tenía poco oxígeno, y su temperatura era de 42 °C. Adicionalmente las únicas fuentes de carbono y nitrógeno sólo fueron en forma de gases. Estas condiciones ambientales son extremas para cualquier tipo de vida microbiana. Sin embargo, son perfectas e interesantes para estudios metagenómicos, debido a que la limitada diversidad bacteriana permitió la reconstrucción casi total de los genomas de *Leptospirillum* grupo II y *Ferroplasma* tipo II. En consecuencia, se reportaron diversos genes que codificaban para resistencia a metales pesados, bombas de expulsión de protones, etc. Esta información muestra la adaptación que han tenido estos organismos a ambientes extremos, siendo la metagenómica muy importante para acceder al conocimiento de estos genomas no cultivables en laboratorio (Tyson et al., 2004).

Existen otros estudios metagenómicos: (1) la secuenciación completa de una bacteria del género *Buchnera*, un endosimbionte de áfidos (Pérez-Brocal et al., 2006), (2) metagenómica del intestino (Gill et al., 2006) y dentadura de humanos (Rudney et al., 2010), etc. Mediante la metagenómica se pudo reconstruir en gran parte el genoma del mamut, una especie extinta (Poinar et al., 2006). Esto nos muestra el potencial que tienen los estudios metagenómicos, y que pronto veremos más publicaciones que generarán un mayor conocimiento de los más diversos ambientes, incluyendo aquellos relacionados con el suelo.

### Metagenómica de suelos

El suelo es probablemente uno de los ambientes más complejos por su diversidad y complejidad microbiológica (Daniel, 2005; Mocallí y Benedetti, 2010). Entender la ecología de los microorganismos es otro desafío para la biología, debido a la gran cantidad de interacciones con factores bióticos y abióticos. Es también una excelente oportunidad para lograr un mayor entendimiento de los aspectos evolutivos y biológicos de los microorganismos, así como de sus aspectos ecológicos. Desde el punto de vista de la biotecnología, este ambiente es visto como una gran reserva de enzimas, antibióticos y otros productos naturales por descubrir (Handelsman 2004; Riese-Field et al., 2004a; Mori et al., 2008). De hecho, una gran parte de drogas contra el cáncer han sido descubiertas a partir de microorganismos del suelo (Pettit, 2004): por ejemplo, la bleomicina y actinomicina D, que fueron aisladas de *Streptomyces verticillius* y *Actinomyces* spp., respectivamente.

Con las herramientas que provee la metagenómica se pretende acelerar el descubrimiento de nuevos compuestos con diversas actividades. En la Tabla 1 se muestran algunos trabajos relevantes de la metagenómica de suelos. Uno de los primeros trabajos sobre metagenómica de suelos fue

realizado por Henne y colaboradores (1999). Estos autores construyeron una biblioteca basada en plásmidos con más de 900.000 clonas, buscando aquellas que crecieran en 4-hydroxybutirato como única fuente de energía y carbono. Así, encontraron cinco clonas positivas y con fenotipo estable para utilizar 4-hydroxybutirato. Análisis de la secuencia de los plásmidos aislados resultaron en genes que codificaron para 4-hydroxybutirato deshidrogenasas. Sorprendentemente, algunas secuencias no mostraron similitud con aquellas depositadas en el NCBI (National Center for Biotechnology Information). Esto demuestra que pueden encontrarse nuevas secuencias con funciones conocidas en bibliotecas metagenómicas.

**Tabla 1.** Trabajos relevantes sobre actividades biológicas encontradas en bibliotecas metagenómicas de suelos.

**Table 1.** Major research works on biological activities found in metagenomics soil libraries.

Descripción del suelo	Tipo de vector/Huésped	Actividad biológica encontrada	Referencia
Suelo de Madison, Wisconsin	pBeloBAC11/ <i>E. coli</i>	Lipasa, Amilasa, ADNasa, Hemolítica	Rondon et al., 2000
Suelo de Madison, Wisconsin	pBeloBAC11/ <i>E. coli</i>	Antibacteriana de amplio espectro	Gillespie et al., 2002
Suelo de bosque	<i>E. coli</i>	Celulasa	Wang et al., 2009
Suelo	pJWC1/ <i>R. metallidurans</i>	Antibacteriana	Craig et al., 2009
Suelo	<i>Streptomyces lividans</i>	Nuevos metabolitos	Wang et al., 2000
Suelo	Cósmido/ <i>E. coli</i>	Antimicrobiana	Brady et al., 2000
Suelo	pEpiFOS-5/ <i>E. coli</i>	Lipolítica	Lee et al., 2004

Una desventaja de utilizar plásmidos que puedan contener únicamente secuencias pequeñas de ADN (2-10 Kb) muestra la limitante de no poder clonar operones o rutas biosintéticas completas. Para ello, se utilizan vectores tipo BAC (Bacterial Artificial Chromosomes), los cuales pueden llevar clonado hasta 750 kb. Sin embargo, generalmente se trabaja en el orden de 100 a 300 kb (Handelsman, 2004). Los fasmidos (o Fosmid, por sus siglas en inglés), que pueden llevar entre 30 y 40 kb, son otro tipo de vectores con mayor capacidad para llevar ADN de mayor tamaño que los plásmidos. El primer reporte de bibliotecas metagenómicas del suelo, la cual contenía grandes fragmentos de ADN, fue realizado por Rondon y colaboradores (2000). Las bibliotecas están basadas en el vector pBeloBAC11 (Kim et al., 1996), una con más 3.500 clonas y la otra con 24.000 clonas; el tamaño promedio de los insertos fue de 27 kb, aunque algunos fueron de más de 80 kb. Entre las clonas se encontraron actividades de lipasa, amilasa y nucleasa. De las bibliotecas encontraron genes 16S

## Conclusiones: desafíos y oportunidades

El suelo es uno de los ambientes donde se presentan muchos desafíos, que lo hacen al mismo tiempo interesante para ser estudiado. Un solo gramo de suelo puede contener miles de especies de organismos procariontes, la mayoría de los cuales reside en la superficie terrestre. De hecho, la mayoría de la biomasa que reside en nuestro planeta es microbiana (Daniel, 2005). Sin embargo, existen aún diversos desafíos que vencer (en la metagenómica y otras áreas relacionadas) para poder acceder a toda esa diversidad microbiana, conocer sus genomas, sus relaciones filogenéticas o sus capacidades metabólicas. En una revisión reciente, Chistoserdova (2010) analizó las diferentes técnicas y novedosas ramas de la metagenómica, como la metatranscriptómica y metaproteómica. Éstas se consideran, junto con las nuevas técnicas de secuenciación, la siguiente generación de tecnologías que acelerarán el descubrimiento de nuevos compuestos. A continuación proponemos algunos desafíos que aún deben superarse: (1) se necesita mejorar los métodos de análisis ("screening") de nuevas o mejores funciones enzimáticas o síntesis de metabolitos, antibióticos. Esto ayudará a analizar miles de clones en poco tiempo, ahorrando costos y esfuerzo; (2) se requiere desarrollar nuevos vectores de expresión con alta capacidad para clonar fragmentos grandes de ADN (>50 kb), y que además, sean replicables en bacterias gram-positivas (ej. *Bacillus* sp) y gram-negativas (ej. *Escherichia coli*). Esto ayudará a la expresión de genes en huéspedes diferentes, ampliando la posibilidad de selección de las funciones de interés; (3) los métodos de secuenciación han mejorado bastante y son cada vez más eficientes; sin embargo, los costos son aún muy altos (en especial los de pirosecuenciación) para la mayoría de los laboratorios en países en desarrollo; (4) se requiere construir bibliotecas empleando huéspedes distintos a *E. coli*, que no sólo sean huéspedes procariontes sino que incluyan otros grupos como arqueas o eucariontes (*Saccharomyces cerevisiae*, por ejemplo); (5) se requiere de estudiantes e investigadores en el área de la metagenómica, en especial en países de Latinoamérica, ya que esto permitiría la colaboración multidisciplinaria entre colegas para competir con proyectos internacionales.

Podemos concluir diciendo que la metagenómica es una ciencia relativamente nueva, que está ayudando a entender cómo los microorganismos, cultivables o desconocidos, se adaptan e interactúan con factores bióticos y abióticos en el suelo. A la vez, la metagenómica promete revelar nuevas moléculas, las cuales pueden mejorar diversas aplicaciones biotecnológicas.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los revisores por las sugerencias que en gran parte han mejorado el artículo. También a la CIC-UMSNH (Proyectos 2009-2010) por financiar los proyectos en el laboratorio. I.V.-S. y R.H.-L. son becarias de maestría del Conacyt-México.

## REFERENCIAS

- Alexander, M. (1977). Introduction to soil microbiology. John Wiley & Sons, New York. p. 472.
- Baker, G.C., J.J. Smith y D.A. Cowan (2003). Review and re-analysis of domain-specific 16S primers. *Journal of Microbiological Methods* 55: 541-555.
- Birtrim, S.B., T.J. Donohue, J. Handelsman, G.P. Roberts y R.M. Goodman (1997). Molecular phylogeny of archaea from soil. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 94: 277-282.
- Chistoserdova, L. (2010). Recent progress and new challenges in metagenomics for biotechnology. *Biotechnol Letters* En prensa.
- Courtois, S., C.M. Cappellano, M. Ball, F.X. Francou, P. Normand, G. Helynek, A. Martinez, S. J. Kolvek, J. Hopke, M.S. Osburne, P.R. August, R. Nalin, M. Guérineau, P. Jeannin, P. Simonet y J.L. Pernodet (2003). Recombinant environmental libraries provide access to microbial diversity for drug discovery from natural products. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 49-55.
- Craig, J.W., F.Y. Chang y S.F. Brady (2009). Natural products from environmental DNA hosted in *Ralstonia metallidurans*. *ACS Chemical Biology* 4: 23-28.
- Curtis, T.P., W.T. Sloan y J.W. Scannell (2002). Estimating prokaryotic diversity and its limits. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99: 10494-10499.
- Daniel, R. (2005). The metagenomics of soil. *Nature Review Microbiology* 3: 470-478.
- Escalante-Lozada, A., G. Gosset-Lagarda, A. Martínez-Jiménez y F. Bolívar-Zapata (2004). Diversidad bacteriana del suelo: métodos de estudio no dependientes del cultivo microbiano e implicaciones biotecnológicas. *Agrociencia* 38: 583-592.
- Garrett, R.A. y H.P. Klenk (2007). Archaea: evolution, physiology and molecular biology. Blackwell Publishing. p. 388.
- Gill, S.R., M. Pop, R.T. DeBoy, P.B. Eckburg, P.J. Turnbaugh, B.S. Samuel, J.I. Gordon, D.A. Relman, C.M. Fraser-Liggett y K.E. Nelson (2006). Metagenomic analysis of the human distal gut microbiome. *Science* 312: 1355-1359.
- Ginolhac, A., C. Jarrin, B. Gillet, P. Robe, P. Pujic, K. Tiphile, H. Bertrand, T.M. Vogel, G. Perrière, P. Simonet y R. Nalin (2004). Phylogenetic analysis of polyketide synthase domains from soil metagenomic libraries allows selection of promising clones. *Applied and Environmental Microbiology* 70: 5522-5527.
- Handelsman, J. (2004). Metagenomics: application of genomics to uncultured microorganisms. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 68: 669-685.
- Henne, A., R. Daniel, R.A. Schmitz y G. Gottschalk (1999). Construction of environmental DNA libraries in *Escherichia coli* and screening for the presence of genes conferring utilization of 4-hydroxybutyrate. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 3901-3907.
- Huber, J.A., D.A. Butterfield y J.A. Baross (2002). Temporal changes in archaeal diversity and chemistry in a mid-ocean ridge seafloor habitat. *Applied and Environmental Microbiology* 68: 1585-1594.
- Hugenholtz, P. y N.R. Pace (1996). Identifying microbial diversity in the natural environment: a molecular phylogenetic approach. *Trends in Biotechnology* 14: 190-197.
- Kermekchiev, M.B., L.I. Kirilova, E.E. Vail y W.M. Barnes (2009). Mutants of Taq DNA polymerase resistant to PCR inhibitors allow DNA amplification from whole blood and crude soil samples. *Nucleic Acids Research* 37:e40.



# Sistemas Dinámicos

# Tiburones

## TIBURONES GUARDIANES DEL MAR

Guía didáctica



PROGRAMA DE  
CONSERVACION  
DE TIBURONES  
— CHILE —



GOBIERNO DE CHILE



Universidad Austral de Chile  
Conocimiento y Naturaleza



# Introducción

---

El Programa de Conservación de Tiburones tiene el placer de presentarte, a ti y a tus alumnos, la guía didáctica TIBURONES: GUARDIANES DEL MAR, un apasionante documento que los transportara a un viaje inolvidable dentro del fascinante mundo submarino de los depredadores más avanzados del planeta.

Este documento pretende normalizar la percepción que tienen las personas de los tiburones mostrando cómo son realmente en su hábitat natural: no se trata de malvadas criaturas devoradoras de hombres, como suelen retratarlos las ficciones cinematográficas, sino fascinantes animales salvajes en peligro de extinción.

TIBURONES: GUARDIANES DEL MAR, no sólo ofrece una presentación educativa única y memorable, sino que también transmite un convincente mensaje conservacionista. Constituye un valioso medio de comunicar la importancia que tiene proteger el ecosistema marino, cada vez más frágil, y mantener su biodiversidad.

El material de este documento está pensado para alumnos de educación básica y media, y te invitamos a adaptar cualquiera de las actividades incluidas según las necesidades específicas de cada curso.

Si deseas más información sobre los contenidos de esta guía, puedes visitarnos en nuestro sitio web [www.tiburoneschile.cl](http://www.tiburoneschile.cl)



# CAPITULO I - ¿Qué es un tiburón?

---

Los tiburones son los animales más antiguos del océano y han evolucionado para convertirse en depredadores topos del ambiente marino. Los primeros tiburones aparecieron hace unos 400 millones de años (Devónico), unos 200 millones de años antes que los dinosaurios. Consideremos que el hombre moderno apareció en la tierra hace sólo 40.000 años.

Los tiburones pertenecen taxonómicamente a la Clase Chondrichthyes o Condrictios (nombre derivado del griego “chondros”: cartílago y “ichthos”: pez), denominados también peces cartilaginosos. Dentro de este grupo de peces se agrupan dos subclases, los Elasmobranquios que incluyen a los tiburones y rayas. Y la Subclase Holocefala en la que se incluyen a las quimeras.

Los tiburones se encuentran en todos los océanos del mundo. Algunos viven en las frías aguas polares, mientras que otros han elegido los cálidos mares tropicales. Algunos habitan en las profundidades marinas, cerca del fondo, y otros prefieren nadar cerca de la superficie. Muchos viven cerca de arrecifes de coral o únicamente en determinadas costas, y también son muchos los que han decidido vivir en alta mar.

## CURIOSIDAD

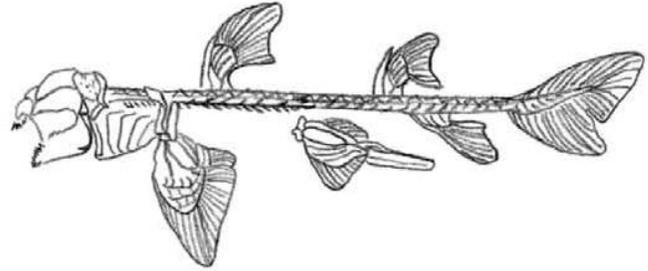
Muchas especies de rayas y un par de especies de tiburones viven en ríos y lagos; como es el caso del tiburón toro (*Carcharinus leucas*) que es un visitante frecuente de los ríos del Amazonas y lagos en Centroamérica.

## 1. Un pez cartilaginoso

El tiburón es un pez. Porque como todos los peces nada mediante aletas y respira a través de branquias. Sin embargo, el tiburón no es como cualquier otro pez, pues se trata de un pez cartilaginoso (por oposición a “pez óseo”). El esqueleto de los tiburones está hecho de cartílago, un tejido ligero y flexible. Por ejemplo, tenemos cartílagos en la nariz y las orejas. Los peces cartilaginosos se diferencian también de los óseos por tener de 5 a 7 hendiduras branquiales en lugar de sólo una. La ligereza del cartílago, además, ayuda al tiburón a mantenerse a flote.

### CURIOSIDAD

Los cartílagos de los tiburones siguen creciendo durante toda su vida.



ESQUELETO DE CARTILAGO

Los peces cartilaginosos, que incluyen también rayas y quimeras, comparten una segunda característica en común: a diferencia de los peces óseos, no tienen vejiga natatoria, sino un gran hígado muy graso. Un hígado rico en grasas les da flotación porque el aceite es menos denso que el agua, y por lo tanto más ligero. Sin embargo, tienen que nadar constantemente para no hundirse. Algunos de los tiburones de mayor tamaño, como el tiburón ballena (*Rhincodon typus*), poseen enormes hígados que les mantienen a flote mientras deambulan por el mar.

## 2. Forma

Los tiburones tienen una forma aerodinámica, como la de un torpedo. Un tiburón típico tiene un hocico oblongo, más afilado hacia la punta, y una larga aleta caudal. Es precisamente esta forma aerodinámica, o “hidrodinámica”, lo que les permite mover su pesado cuerpo con tanta facilidad y rapidez por el agua.

## 3. Tamaño

Hay unas 400 especies diferentes de tiburones. Entre ellas, los tres peces más grandes del mar: Tiburón ballena (*Rhincodon typus*), tiburón peregrino (*Cetorhinus maximus*), y el tiburón bocudo (*Megachasma pelagios*), que no son peligrosos para los humanos. Pero los tiburones pueden tener formas y tamaños muy diversos. Menos del 20% de los tiburones son más grandes que una persona. El 50% de las especies nunca crecen más de 1,80 metros, aproximadamente la estatura de una persona adulta. Y sólo 10 entre todos los tiburones conocidos alcanzan los 4 metros de longitud. La mayoría de los tiburones mide de 60 a 90 centímetros. El tiburón ballena es el pez más grande del mundo, puede medir casi 20 metros de largo y pesar más de 12 toneladas. En cambio el tiburón más pequeño del mundo es el pigmeo (*Squaliolus laticaudus*), este puede caber en la palma de la mano ya que sólo mide unos 20 centímetros.

## CURIOSIDAD

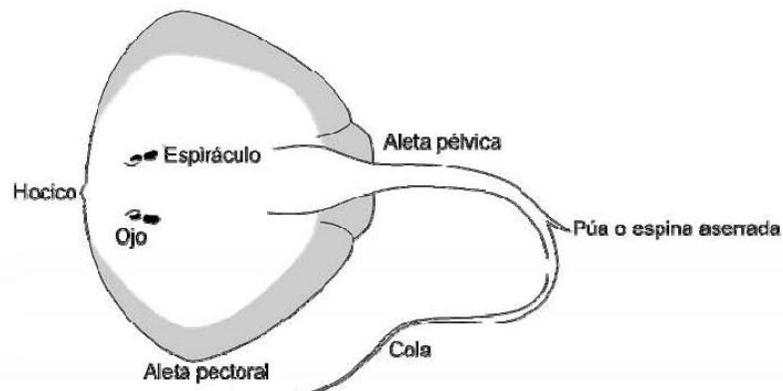
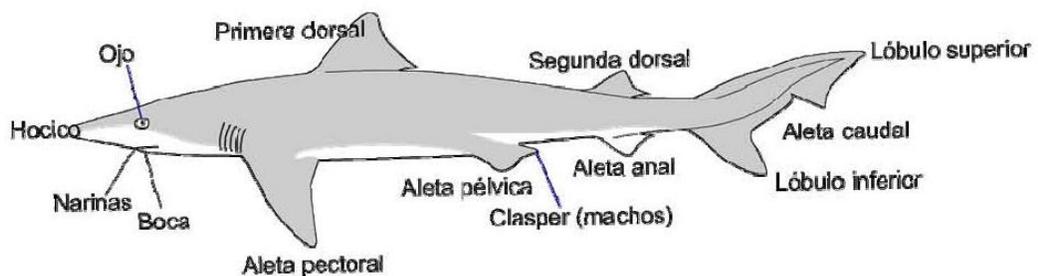
El tiburón peregrino (*Cetorhinus maximus*), es un visitante ocasional en el sur de Chile, adentrándose en los canales del sur para alimentarse, este tiburón alcanza tamaños hasta a los 12 metros de largo y pesa más de 4 toneladas.

## 4. Aletas

Las aletas desempeñan un papel crucial para los tiburones. No son flexibles, sino rígidas, y se sostienen mediante radios cartilagosos. Las aletas del tiburón tienen dos funciones principales:

(a) En primer lugar, evitar que el tiburón gire sobre sí mismo. Los tiburones tienen una o dos aletas dorsales que estabilizan su cuerpo. Las aletas anal y pélvica tienen la misma función.

(b) En segundo lugar, propulsar y controlar la dirección. Las aletas pectorales evitan que el tiburón se incline hacia arriba o hacia abajo y se mueva de forma desequilibrada. Las aletas pectorales dobles elevan al tiburón cuando nada para impedir que se hunda. La aleta caudal propulsa al tiburón hacia adelante.





Un tiburón sin aletas no podría nadar y, por lo tanto, moriría. Los tiburones utilizan su cuerpo y su cola realizando movimientos laterales para desplazarse por el agua. Este movimiento oscilante da al cuerpo un fuerte impulso hacia delante. Las aletas pectorales presentan una ligera inclinación que permite a los tiburones ascender. Inclinando las pectorales y curvando el cuerpo, el tiburón puede girar con gran facilidad. Para reducir la velocidad sólo tiene que cambiar la inclinación para que las aletas frenen contra el agua.

### **CURIOSIDAD**

Los tiburones tienen aletas pélvicas y pectorales donde otros animales tienen patas delanteras y traseras.

### **UN DATO SORPRENDENTE**

Algunos tiburones, como el blanco, se mueven tan deprisa que generan la fuerza suficiente para saltar fuera del agua. Es un espectáculo maravilloso, ¡y una buena técnica de caza!

### **SOPA DE ALETA DE TIBURÓN Y PELIGRO DE EXTINCIÓN**

Los tiburones están amenazados por la creciente demanda de la sopa de aleta de tiburón, considerada un plato exquisito en algunos países asiáticos. En la actualidad, este es uno de los mayores peligros que acechan a las poblaciones de tiburones: se les saca del agua sólo para cortarles las aletas cuando aún están vivos y después se les devuelve al mar, donde les espera una lenta muerte.

## **5. Dientes**

Los dientes de los tiburones son algo único. Un tiburón sin dientes moriría de hambre, por supuesto. Por eso, a diferencia de otros animales, los dientes del tiburón crecen constantemente para sustituir los que pierde al cazar. La boca del tiburón suele tener cinco o más hileras de dientes, una detrás de otra. Utilizan las filas delanteras para atrapar y desgarrar a sus presas. Cuando se caen o rompen sus dientes delanteros, la hilera siguiente se mueve para sustituir los dientes perdidos. Los tiburones desarrollan dientes nuevos durante toda su vida.

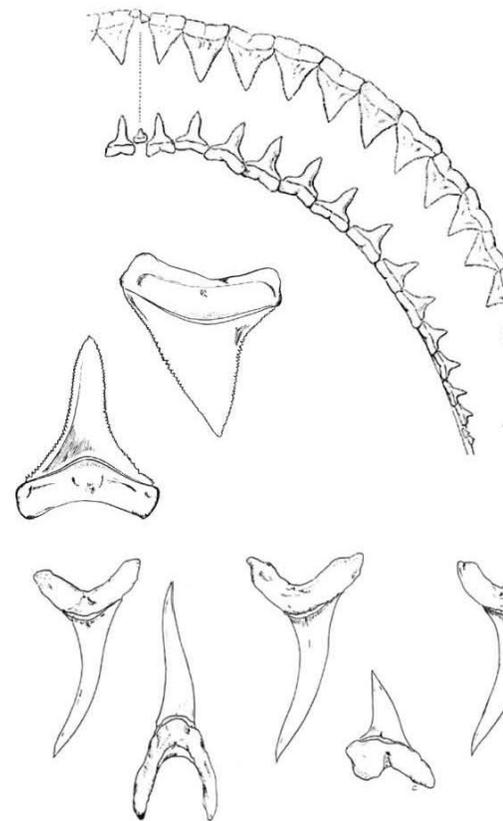
## CURIOSIDAD

Un tiburón de gran tamaño, como el tiburón marrajo puede llegar a fabricar 30.000 dientes a lo largo de su vida.

Los dientes de los tiburones están adaptados a su forma de alimentarse. A diferencia de los humanos, los tiburones no mastican la comida. Y no son omnívoros como nosotros, sino carnívoros. Emplean los dientes para capturar a la presa y, si es necesario, para partirla en trozos más pequeños que puedan tragar.

La mayoría de los dientes de tiburón son muy cortantes. Sus mandíbulas son potentes y los afilados dientes son capaces de cortar el hueso e incluso pequeñas cadenas de acero.

Los dientes de los tiburones tienen diversas formas, que oscilan entre puntas curvadas de feroz aspecto y puntas triangulares planas, algunos dientes son como pequeñas placas que le sirven para apretar y triturar la presa. Las especies de gran tamaño, como el tiburón azul y el peje-zorro, tienen dientes triangulares con bordes puntiagudos. Estas características les ayudan a sostener a los peces y animales grandes que cazan para poder entonces arrancar pedazos de carne o partir la concha de las tortugas. Los dientes del tiburón limón en cambio, son largos y estrechos, lo que les da un aspecto temible, pero en realidad este tipo de tiburón no es muy agresivo. La forma de sus dientes es ideal para agarrar con fuerza presas resbaladizas, como peces y calamares.



DIVERSIDAD DE DIENTES

## CURIOSIDAD

El tiburón ballena, uno de los más grandes del planeta, tiene unos dientes muy pequeños. Este tiburón no emplea los dientes para morder porque se nutre filtrando alimento.

## 6. Sentidos

Los tiburones tienen unos sentidos asombrosamente desarrollados, y los utilizan para evitar a los depredadores, buscar presas y reproducirse. Pueden ver, oler, saborear, tocar y oír mucho mejor que los humanos. Y además, tienen un sexto sentido ya que son capaces de detectar pequeños impulsos eléctricos en el agua. Todos los animales producen algún tipo de señal eléctrica, que puede resultar muy útil para detectar a las presas que están ocultas.

### Vista

Los tiburones tienen una vista excepcional, y su visión nocturna es bastante buena. Ven diez veces mejor que los humanos con poca luz, y esto les permite cazar antes del amanecer y ya entrada la noche. Los ojos de los tiburones tienen un mecanismo similar al de los gatos. La parte posterior de los ojos lleva una capa parecida a un espejo denominada *tapetum lucidum*. Esta capa duplica la intensidad de luz que reciben los ojos reflejando de nuevo los rayos de luz sobre la retina, con lo que se aprovecha al máximo la luz disponible. Otra de las ventajas de los ojos de los tiburones es su capacidad de adaptación a la luz. Un tiburón ve igual de bien durante el día que por la noche. Esto se debe a que las pupilas del tiburón pueden dilatarse y contraerse para regular la cantidad de luz recibida. Podríamos creer que su mundo es en blanco y negro, como el de otros animales, pero en realidad ven diferentes sombras y algunas especies incluso ven en color. Son verdaderamente el depredador perfecto. Los ojos de los tiburones están situados a los lados de la cabeza, lo que les da un campo de visión más amplio que el de los humanos. Algunos de los tiburones que viven cerca del fondo oceánico tienen los ojos sobre la cabeza. Los tiburones que cazan con rapidez ven mejor que los que permanecen en el fondo del mar acechando a sus presas. Todos los tiburones tienen un párpado fijo, situado alrededor del ojo, y algunos, los de la familia *Carcharhinidae*, poseen también un párpado móvil, llamado membrana nictitante. Se trata de una capa de piel que se cierra para proteger a los ojos cuando el tiburón ataca. Los que no disponen de esta membrana hacen girar sus ojos para introducirlos bajo la cabeza cuando atacan.





## Olfato

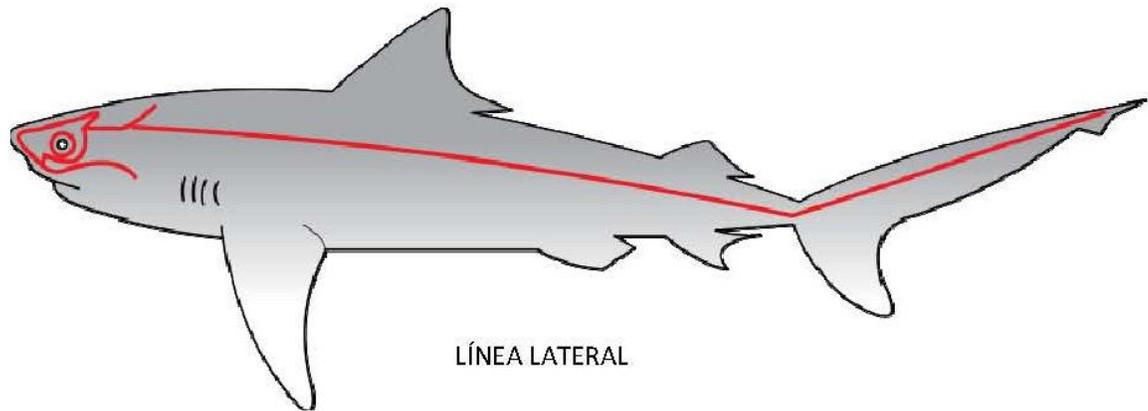
Los tiburones también tienen un potente sentido del olfato, que les permite detectar olores casi inapreciables. Un tiburón puede oler una gota de sangre a unos cinco kilómetros de distancia, e identificar sin problema el olor general de los peces y otros animales. La nariz de los tiburones, llamada Narinas, tiene fosas nasales, pero sólo sirven para oler y no para respirar. La mayoría de los tiburones encuentran a sus presas moviéndose y utilizando el olfato, y sólo emplean la vista cuando están cerca. El olfato es útil a larga distancia, pero cuando el tiburón quiere probar su posible fuente de comida, muerde un trozo, y si no le gusta, lo escupe.

## Gusto

Los tiburones tienen un poderoso sentido del gusto: son bastante exigentes con la comida y rechazan lo que no les sabe bien, como las personas, por ejemplo. Si a veces engullen latas de conserva y bolsas o botellas de plástico, es por accidente. Además de la boca, todo su cuerpo está recubierto de papilas gustativas. Así, con sólo frotarse contra un objeto pueden detectar su sabor. Esto explicaría por qué los tiburones chocan contra presas desconocidas en lugar de morderlas. No pretenden intimidarlas, sino probarlas a través de su piel.

## Tacto

Bajo la piel, los tiburones tienen terminaciones nerviosas muy sensibles al tacto. Esta gran sensibilidad es debida a la línea lateral que tienen los tiburones. A lo largo de esta línea lateral todos los tiburones poseen células que salen de la cabeza y se extienden por todo el cuerpo. Estas células son capaces de detectar el más ligero movimiento a su alrededor. De hecho, les permiten no sólo sentir su propio cuerpo y movimientos, sino también obtener información sobre la temperatura del agua, las corrientes y cualquier señal eléctrica presente en el agua. Así, para un tiburón es muy fácil detectar a un pez aleteando en las inmediaciones. Además, esta hipersensibilidad les permite identificar peligros, aparearse y encontrar el camino que quieren seguir.

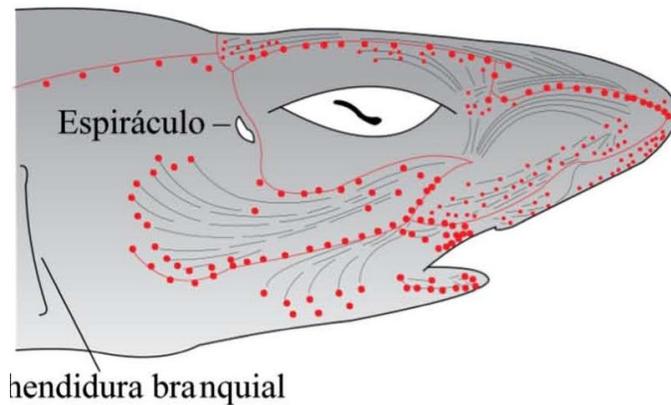


## Oído

Los tiburones tienen un oído excelente y detectan sonidos a gran distancia. Los tiburones poseen orejas a ambos lados del cerebro, conectadas a la línea lateral. No las podemos ver porque están dentro de la cabeza. Oyen sonidos profundos, de baja frecuencia, como el motor de una embarcación, y a veces incluso acuden a curiosear. Por supuesto, pueden oír al pobre pez herido hundiéndose, y también olerlo. Los submarinistas no logran nunca entrar en el agua sin ser detectados. Los tiburones emplean el oído para buscar comida. Suele ser el primer sentido en que confían para detectar a la presa. Bajo el agua, el sonido viaja más rápidamente y hasta una mayor distancia que en la superficie. Los tiburones se sienten atraídos por los sonidos de baja frecuencia, similares a los que emiten las presas heridas o enfermas. La mayoría de los sonidos más atractivos se sitúan entre 25 y 100 Hz de frecuencia. Algunos tiburones son atraídos por fuentes de sonido a distancias tan considerables como 250 metros.

## Electrorecepción: un sexto sentido

Como muchos otros peces, los tiburones tienen un sentido más, el sexto sentido, acerca del que sabemos muy poco. Son capaces de detectar pequeños impulsos eléctricos en el agua. Este sentido puede ser muy útil, pues todos los animales producen algún tipo de señal eléctrica. Les permite detectar movimientos en el agua desde centenares de metros de distancia. Dado que captan las señales eléctricas generadas por la presa, pueden detectar los movimientos de otros animales. El sexto sentido existe gracias a unos órganos electrorreceptores denominados ampollas de Lorenzini, descubiertas no hace mucho por cierto. Estas ampollas son poros llenos de gelatina. Están situados alrededor de la cabeza, con una mayor concentración cerca del hocico, y se conectan al



AMPOLLAS DE LORENZINI

cerebro mediante terminaciones nerviosas. Básicamente, las ampollas son detectores de campos eléctricos. Todo ser vivo produce un campo eléctrico y los tiburones pueden percibirlo. Extrañamente, a veces los tiburones atacan a objetos metálicos. Este comportamiento se debe a que, en el agua salada del mar, los metales desprenden señales eléctricas que hacen pensar al tiburón que se trata de una presa. Los tiburones no sólo pueden detectar a su presa, sino también a un submarinista o posible cazador sin ni siquiera verlos.

**CURIOSIDADES** Alcance de los órganos sensoriales de los tiburones

Tacto y gusto:	por contacto
Ampollas de Lorenzini:	algunos metros
Vista:	decenas de metros
Olfato y línea lateral:	varios campos de fútbol
Sonido:	varios kilómetros

**7. Reproducción**

La mayoría de especies de tiburón crecen lentamente y necesitan muchos años para alcanzar la madurez. Las especies más grandes suelen tardar de seis a ocho años en madurar, e incluso más. Los científicos no saben con exactitud cuántos años viven los tiburones. Se sabe que algunas especies grandes pueden alcanzar los cuarenta años de edad, y quizá más. Los tiburones tienen un ciclo reproductivo largo, de uno a dos años de duración en la mayoría de especies, y también un prolongado periodo de gestación. La gestación dura entre tres y cuatro meses en las especies pequeñas y hasta dos años o más en los tiburones de gran tamaño. Su tasa de fecundidad es baja en comparación con otros peces quienes pueden desovar desde miles a millones de huevos. Debido a su lenta maduración, una tasa de reproducción baja, una fecundidad reducida y una larga gestación, los tiburones son muy vulnerables a la sobreexplotación pesquera.



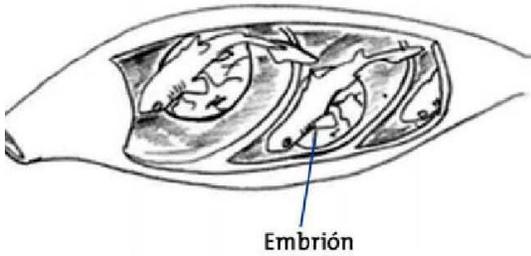
Mientras que algunos tiburones dan a luz en los fondos oceánicos profundos, muchas especies alumbran en los arrecifes de coral, en aguas costeras superficiales o en estuarios, es decir, en lugares con abundante alimento. Precisamente, los mismos lugares que frecuentan los pescadores. La pesca puede hacerlos desaparecer del océano antes de que puedan reproducirse.

Además, cualquier degradación medioambiental es una amenaza directa para sus zonas de cría. Durante el apareamiento, la hembra libera en el agua sustancias químicas perfumadas. El macho, atraído por el aroma, busca a la hembra y la anima a emparejarse persiguiéndola y mordiéndola. La gruesa piel que suelen tener los tiburones hembra les permite sobrevivir a las mordeduras del apareamiento. Pero a veces la hembra llega a morir en el intento, víctima de los mordiscos de machos demasiado excitados. El tiburón macho posee un par de órganos reproductores llamados “cláspers”, que son extensiones de las aletas pélvicas. Al aparearse, los introduce en el órgano reproductor femenino, denominado cloaca. El espermatozoides del macho se deposita entonces en la hembra y nada hasta dar con un óvulo, en uno de los dos úteros. Los huevos se fertilizan en el interior del cuerpo de la hembra (fecundación interna).

En la mayoría de los tiburones recién nacidos, las crías están aptas para sobrevivir en el medio marino, vienen al mundo con un juego de dientes completo y están preparadas para alimentarse por sí solas. De hecho, tras nacer se ponen a nadar rápidamente para huir de su madre, que podría llegar a comérselos. El tamaño de la camada oscila entre una o dos crías y más de cien. Según la especie, los óvulos fecundados pueden desarrollarse de tres maneras diferentes. El 70% de los tiburones nacen vivos: son vivíparos u ovovivíparos. El 30% restante son ovíparos, es decir, ponen huevos.

## CURIOSIDADES

El número de embriones producidos por una sola madre oscila entre dos y varios centenares, como por ejemplo en la pintaroja común (*Schroderictys chilensis*) puede tener máximo dos crías, la hembra de tollo negro (*Centrocyllum granulatum*) común en las aguas profundas de Valdivia puede tener entre 8 a 16 y hasta 300 crías que puede tener el tiburón ballena.



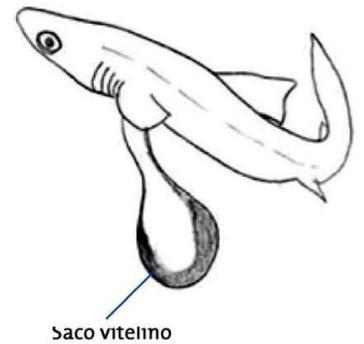
Embrión

## Viviparidad

El embrión se desarrolla dentro del cuerpo de la madre, unido a la pared uterina y con una placenta que proporciona nutrientes y oxígeno. El embrión se alimenta a través de la sangre de la madre mediante un cordón umbilical que se une al embrión cerca de las aletas pectorales. Tras una gestación de 9 a 12 meses, la madre pare crías vivas. Al nacer, las crías ya formadas salen de la madre con la cola por delante. Así su cabeza queda protegida durante el parto. Las crías recién nacidas ya saben nadar, no dependen de su madre y se valen por sí solas inmediatamente.

## Ovoviviparidad

Los embriones se desarrollan dentro de un huevo en el útero. No se alimentan de la inexistente placenta sino a partir de un líquido llamado vitelo que está almacenado en un saco o bolsa unida a su cuerpo. En algunas especies de tiburón cuando el vitelo se termina, los embriones se alimentan de los huevos no fecundados y de las crías más pequeñas y por tanto más débiles. Muy pocas crías sobreviven hasta el nacimiento a causa de esta forma de canibalismo entre hermanos. El embrión se alimenta del saco vitelino unido a su abdomen hasta que está apto para ser dado a luz por la madre.



saco vitelino

## CURIOSIDAD

El tiburón, tollo de cachos (*Squalus acanthias*) que no alcanza más de metro y medio de longitud, tiene el record del periodo de gestación más largo en el mundo animal: se demora entre 18 y 24 meses en dar a luz entre 1 a 20 crías



## Oviparidad

La hembra encierra el huevo en una cápsula de colágeno, denominada huevo o cápsulas. Estas cápsulas cumplen la función de proteger al embrión de depredadores. Son de diversas formas y presentan estructuras como filamentos o zarcillos en los extremos, lo que les permiten adherirse. La madre libera los huevos en el mar, enredándolos en algas o corales a través de los zarcillos. El embrión crece dentro del huevo y sale de este cuando está totalmente desarrollado. Tras depositar los huevos, la madre no se dedica a cuidarlos, por lo que las crías se ven expuestas a numerosos peligros. Sin embargo, la madre los deposita donde sabe que estarán a salvo y tendrán un buen suministro de comida cuando las crías rompan el huevo.

### ¿Sabías que...?

Este tipo de reproducción le permite a la hembra tener únicamente dos cápsulas en un periodo de tres a cuatro meses.

Si deseas más información sobre las pautas reproductivas de cada una de las especies de tiburones en Chile, visitar la sección exclusiva en nuestro sitio web [www.tiburoneschile.cl](http://www.tiburoneschile.cl)



## UNIDAD II -Tiburones: Falsos prejuicios

---

Esta unidad devela las falsas ideas o conceptos que tiene la gente sobre los tiburones y explica cómo son y se comportan realmente. Se cree habitualmente que los tiburones son animales enormes, feroces y crueles que comen mucho y adoran la carne humana. No es cierto. Los tiburones suelen atrapar presas bastante más pequeñas que ellos, y la carne humana no les sabe absolutamente a nada. Sin embargo, sí son unos de los animales más grandes que habitan en los océanos y su rol más importante es que ocupan la cima de la cadena alimentaria en los océanos, con lo que equilibran y controlan las complejas redes de seres vivos situadas en la parte inferior de la cadena.

En el océano, los peces y todas las criaturas del mar dependen unos de otros para sobrevivir. El continuo “comer y ser comido” que mueve a la naturaleza genera un ciclo vital en el que todo se aprovecha y nada se desperdicia. Sin los tiburones u otros depredadores superiores que se alimentan de peces más pequeños, no habría ningún control sobre las poblaciones de peces, que pronto agotarían sus fuentes de comida. Los tiburones desempeñan un papel crucial en los océanos manteniendo el equilibrio de la cadena alimentaria. Además, los tiburones se alimentan de animales heridos o enfermos, con lo que eliminan a los individuos más débiles. Podríamos decir que “limpian” los océanos para que el ecosistema se mantenga sano y en equilibrio.

### 1. ¿Qué comen los tiburones?

Todos los tiburones son carnívoros, y la mayoría se alimentan de peces y otros animales. Según la especie se alimentan de: calamares, pulpos, langostas, lobos marinos, tortugas e incluso otros tiburones, son su alimento habitual. Sin embargo, el tiburón ballena, que es el tiburón más grande y también el pez más grande del planeta, sólo come toneladas de plancton. A pesar de las historias que se rumorean, los tiburones no se comen a las personas. Los tiburones y otros peces predadores con grandes dientes son generalmente bastante de fiar. Incluso las especies de mayor tamaño se alimentan de criaturas mucho más pequeñas que los humanos. Pero pueden morder si se les provoca. Más de la mitad de los tiburones no alcanzan nunca una

longitud superior a 1,2 o 1,5 metros, y muchos tienen unos dientes demasiado pequeños para provocar heridas graves.

Aunque parezca sorprendente, los tiburones tampoco comen tanto, y de hecho algunos pueden estar semanas sin alimentarse. Los tiburones que son cazadores activos pueden llegar a comer sólo varias veces a la semana, mientras que los que capturan presas pequeñas pueden hacerlo varias veces al día.

## 2. ¿Cómo atacan los tiburones?

Los humanos hemos dado a los tiburones la mala reputación de “asesinos feroces y sanguinarios”, y esta sigue siendo la idea que tiene mucha gente sobre estos peces. Los medios de comunicación se encargan de perpetuar este falso prejuicio. Desde un punto de vista estadístico, en cambio, los tiburones no son tan peligrosos para los humanos como se cree. Por supuesto, muchos tiburones son capaces de matar a una persona, pero sólo se presentan en promedio 5 ataques mortales a personas por año en todo el mundo, menos que el número de personas que mueren a causa de mordeduras de perro, picaduras de avispas, rayos o resbalones en la bañera. La primera reacción de la mayoría de los tiburones en su hábitat natural ante un animal poco familiar como los humanos, es la autoprotección. Es decir, alejarse.



Similitudes entre un nadador y una tortuga desde el punto de vista de un tiburón

De las 400 especies de tiburones que existen, sólo se conocen unas 20 que hayan atacado a humanos. Estas especies tienen tres cosas en común: se alimentan de peces o mamíferos marinos grandes, alcanzan un tamaño considerable y suelen merodear por las cálidas aguas costeras, donde también suele haber gente. Los humanos se convierten en una presa por casualidad. Un tiburón puede confundir a los bañistas o buzos con presas. Desde abajo, un



nadador, especialmente los surfistas se parecen a una tortuga o un lobo marino. Estos ataques suelen suceder en sectores donde la visibilidad es baja debido a la resuspensión de partículas en el agua o en zonas donde los tiburones comúnmente se alimentan.

Después de atacar, el tiburón suele darse cuenta del error y se aleja sin más. A los tiburones no les gustan los humanos: tenemos demasiados huesos, y, a diferencia de los lobos marinos, no tenemos suficiente carne ni grasa. Los tiburones también pueden causar heridas si golpean con fuerza a una persona. En los arrecifes de coral es tal la abundancia de peces pequeños que casi no se conocen ataques directos a los humanos. Los pocos casos registrados han sido personas que, durante la pesca con arpón, han vertido mucha sangre al agua. En la mayoría de los ataques se han visto implicadas personas que intentaban apresar a un tiburón atrapado o enganchado al anzuelo.

A veces los ataques son mortales, debido a que la víctima puede morir por desangramiento y no por ser comido por el tiburón, pero debemos recordar que son muy poco frecuentes. La mayor cantidad de ataques se registra en las aguas de Norteamérica, Australia y Suráfrica. La calidez de las aguas de estas zonas atrae a muchísima gente, lo que hace más probable entrar en contacto con los tiburones.

### 3. ¿Cómo obtienen alimento?

#### Caza

Los tiburones son los depredadores marinos más antiguos del planeta. Su cerebro es mayor que el de la mayoría de los demás peces, y son cazadores sofisticados, dotados de espectaculares sentidos. Los hábitos de caza del tiburón siguen siendo poco conocidos, pues nadan muy rápidamente a lo largo de grandes distancias y descienden hasta profundidades donde es difícil para los humanos llegar. Durante la mayor parte de su vida son animales solitarios. Suelen vivir y cazar solos, y su modo de subsistencia consiste en encontrar alimento y mantenerse sanos y salvos. Aunque se les puede ver nadando con otros individuos de su misma especie, la mayoría de los tiburones no atacan hasta que vuelven a estar solos.





A los tiburones se les llama “cazadores silenciosos” porque a menudo pasan desapercibidos para sus presas. Muchos recurren al camuflaje para actuar por sorpresa. Esperan el momento oportuno, aparecen por detrás o de abajo y atacan. Cuando un tiburón halla una posible presa, nada en círculo a una cierta distancia para evaluar la situación. Cuando está listo para atacar, se acerca a toda velocidad y muerde antes de que la presa pueda darse cuenta de nada. En la mayoría de los casos, un mordisco es suficiente para reducir a la presa. Después de atacar, esperan a que la víctima muera por desangramiento. Este método de caza les permite ahorrar mucha energía.

### ¿Sabías que...?

Los tiburones recurren al camuflaje para sorprender a sus presas al cazar. Por lo general, los tiburones presentan una coloración oscura por encima, en la zona dorsal, y más clara por debajo, en la parte ventral. Las presas o depredadores no siempre los ven cuando miran hacia abajo gracias a la oscuridad que emerge del fondo oceánico. Cuando la presa o depredador mira hacia arriba, el vientre claro de los tiburones se funde con la superficie del océano iluminada por el sol, con lo que también logran pasar inadvertidos. De forma similar, los tiburones que prefieren el fondo oceánico para vivir se confunden a la perfección con el lecho marino.

### Filtrado

Algunos tiburones se alimentan nadando con la boca abierta. Engullen agua y filtran la comida que hay en ella. Su alimento son los organismos más pequeños del mar, un sinfín de plantas y animales diminutos que se denominan colectivamente “plancton” y viven flotando en el agua. Esta forma de alimentarse se denomina “filtrado”. Curiosamente, tres de las especies de tiburón más grandes son filtradores: el tiburón bocudo, el tiburón peregrino y el tiburón ballena.

### Otras estrategias

Los tiburones no siempre cazan para comer. Al igual que otros grandes predadores, como los tigres, buscan presas fáciles, por ejemplo animales heridos o enfermos. También son carroñeros, y se conforman con cualquier criatura muerta que encuentren con tal de que sepa bien. Algunos de los que viven en el fondo, camuflados, se confunden con el lecho marino y

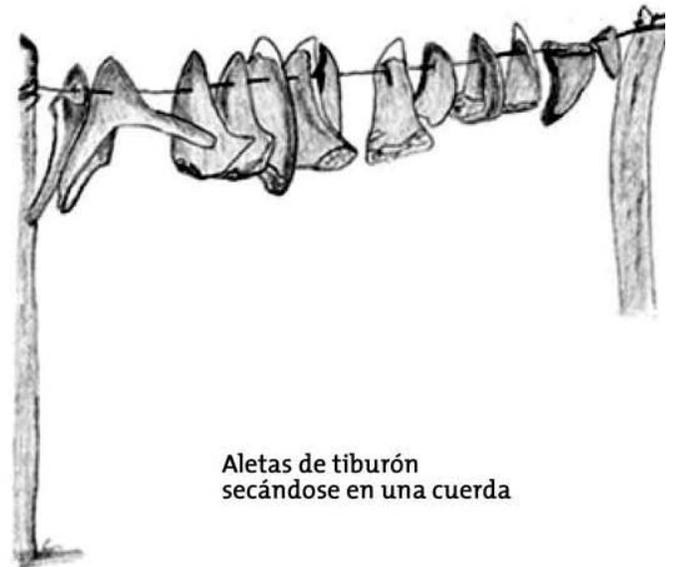
esperan hasta que llega una presa. Cuando un pez se acerca lo suficiente, abren la boca y se lo tragan entero.

#### 4. Tiburones en peligro

Durante 400 millones de años, los tiburones han sobrevivido a grandes cambios ambientales, pero la evolución no les preparó para resistir al súper-depredador que ha aparecido hace apenas 500 años: el hombre industrializado. Algunos tipos de tiburones están en peligro de extinción. Al eliminar estos animales, el ser humano está poniendo en peligro el importante papel que desempeñan en el mantenimiento del equilibrio de la vida en los océanos.

Puede que la gente tenga miedo de este depredador oceánico, pero lo cierto es que los tiburones tienen más motivos para temer a los humanos que viceversa. La especie humana está destruyendo literalmente las poblaciones de tiburones de este planeta. En todo el mundo, cada año se matan unos 100 millones de tiburones.

Los tiburones son el blanco de los pescadores deportivos. Dado que no es fácil apresar a un tiburón, cuando un pescador lo logra suele exhibir en público las mandíbulas con sus dientes a modo de souvenir o las vende a algún turista. No obstante, la amenaza más grave es la pesca comercial. Millones de tiburones son sacrificados cada año por su carne, hígado (aceite), cartílagos, mandíbulas, dientes, órganos internos, piel y, sobre todo, por sus ALETAS.



Aletas de tiburón  
secándose en una cuerda



Debido a la escasez de bacalao, éste a veces es sustituido por cazón, un tipo de tiburón pequeño, en los restaurantes. Es significativo que en los mercados de pescado se venda tiburón bajo otros nombres, como congrio japonés, anguila o corvinilla. El cartílago de tiburón se vende como remedio contra el cáncer aunque no existen pruebas científicas de su eficacia. En muchos países asiáticos se ha disparado la demanda de la popular sopa de aleta de tiburón durante los últimos cincuenta años, solamente por pretender un estatus dentro de la sociedad. Esto significa que los pescadores cazan tiburones sólo por las aletas, y los devuelven al mar una vez que les han cortado tan preciado manjar. Sin las aletas, los tiburones no pueden maniobrar y acaban hundiéndose hasta el fondo del mar, donde mueren desangrados. La práctica de extirpar las aletas sólo está prohibida en algunos países como Colombia y Costa Rica, aunque muchos países Sudamericanos aún no poseen leyes que prohíban o regulen este tipo de prácticas.

En ciertos países costeros se colocan redes de seguridad para proteger a la gente de posibles ataques de tiburones. Sin embargo, estas redes también capturan a muchos tiburones inofensivos, y cuando uno de ellos se queda atrapado, las posibilidades de escapar son casi nulas. Otra cruel forma de muerte que afecta a los tiburones es quedarse atrapados en las redes de pesca o en anzuelos y palangres. Las gigantescas redes que se despliegan para pescar atunes acaban capturando a otros habitantes del océano, como tiburones y delfines, que son especies no deseadas. Esto se llama “captura incidental”, y los tiburones capturados normalmente se devuelven al mar. Desafortunadamente, muchos de ellos mueren. De todos los tiburones que se cazan en el mundo, aproximadamente la mitad se capturan por simple casualidad, como captura incidental, en barcos pesqueros interesados en otras especies.

Los tiburones son particularmente vulnerables a la sobrepesca a causa de su baja tasa reproductora. En comparación con otros peces, los tiburones maduran tarde, crecen lentamente y producen pocas crías. Algunos tardan hasta seis años en alcanzar la edad reproductiva. El periodo de gestación (el tiempo que pasa el embrión dentro de la madre) puede alargarse hasta 24 meses en algunas especies, como por ejemplo, en el tollo de cachos *Squalus acanthias*, un habitante de los mares en el sur de Chile. La pesca puede hacerlos desaparecer antes de que logren reproducirse. Las prácticas de pesca destructivas, como las redes de arrastre, las redes de deriva y los palangres de fondo, también amenazan a los tiburones debido a que son muy poco selectivos, es decir, capturan incidentalmente muchas especies marinas de importancia ecológica como lo son los tiburones, corales y esponjas. El ser humano ha matado ya a tantos tiburones que los ecosistemas submarinos han perdido su equilibrio natural. Hoy, hasta un 80% de las especies de tiburones están en peligro de extinción.



# CAPÍTULO III – Los diferentes tipos de tiburones

---

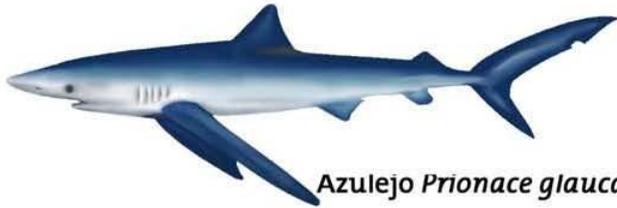
## 1. Los tiburones

Como ya sabías, los tiburones son peces cartilaginosos, y aunque sean bastante diferentes de las rayas, peje gallos y quimeras pertenecen a esta misma clase de peces. A diferencia de lo que se cree, Chile presenta una rica biodiversidad de tiburones. En las aguas costeras habitan las pintarrojas y los tollos, mientras que en el océano abierto podemos encontrar al tiburón marrajo, el azul y el peje-zorro. Casi todos los tiburones que habitan en Chile, viven en las profundidades de los océanos, son de color negro y no alcanzan más de 1 metro de largo.

Uno de los peces más grandes del mundo, el tiburón peregrino (*Cetorhinus maximus*), es un visitante frecuente del sur de Chile, donde incluso se acerca a la costa a alimentarse, y a pesar de tener un cuerpo que alcanza hasta los 12 metros de largo y 5 toneladas de peso, es un inofensivo consumidor de plancton. Su ancha boca está situada en la parte frontal de la cabeza y posee unos dientes pequeñísimos en la mandíbula inferior. No necesitan dientes grandes, pues se alimentan filtrando el agua.

### ¿Sabías que...?

El plancton es un término que describe a miles de diferentes de criaturas microscópicas que flotan a la deriva en el agua. Incluye determinados tipos de algas, que son plantas y utilizan la energía del sol para fabricar su alimento. Esta fracción vegetal se denomina “fitoplancton”. El plancton también contiene numerosos animales, o larvas, que se alimentan del fitoplancton e incluso se comen entre sí, y reciben el nombre de “zooplancton”.



Azulejo *Prionace glauca*



Marrajo *Isurus oxyrinchus*



Tollo de cachos *Squalus acanthias*



Tollo fino *Mustelus mento*



Pejezorro *Alopias vulpinus*



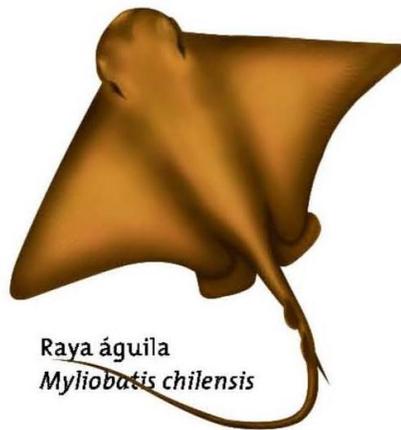
## 2. Las rayas

Las rayas pertenecen a la misma familia que los tiburones. Pero no se les parecen mucho, como ocurre a veces con algunos primos lejanos. Las rayas tienen un cuerpo plano y muy ancho. De hecho, sus aletas pectorales en forma de triángulo parecen alas y están unidas directamente a la cabeza. Los ojos están situados a los costados y detrás de cada ojo se encuentran unas aberturas llamadas “espiráculos” que a menudo se confunden por orejas. Sirven para aspirar agua cuando están descansando en el fondo del mar.

La raya espinosa *Dipturus trachyderma* es la raya más grande de Chile, y puede pesar hasta 100 kilos. Tiene un aspecto impresionante, y un ancho de casi 4 metros, es decir, más de dos autos uno junto a otro.



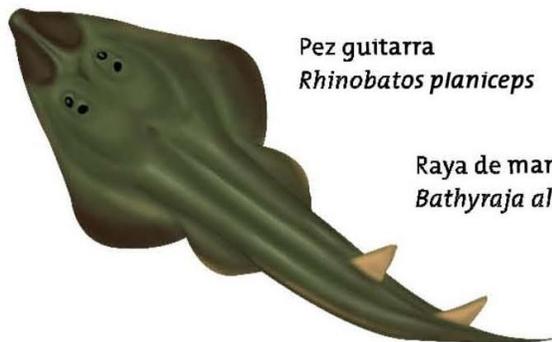
Raya volantin  
*Zearaja chilensis*



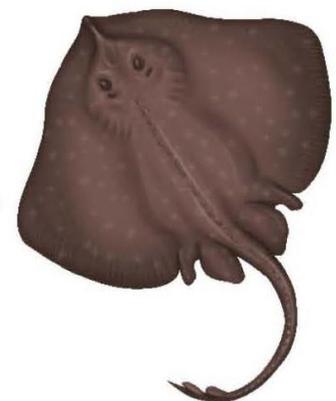
Raya águila  
*Myliobatis chilensis*



Raya gris  
*Bathyraja griseocauda*



Pez guitarra  
*Rhinobatos planiceps*



Raya de manchas blancas  
*Bathyraja albomaculata*

### 3. Las quimeras

Las quimeras son un primo lejano de los tiburones tienen un cuerpo que ha evolucionado para la vida en las profundidades del océano. Todas las especies son de grandes ojos y cola como un largo látigo. En su primera aleta dorsal, siempre tienen una larga espina aserrada que les sirve para protegerse de sus depredadores. A diferencia de los tiburones o las rayas, sus dientes se han fusionado formando cuatro placas con las cuales muelen los cangrejos y caracoles de los que se alimentan. A diferencia de sus primos, las branquias están cubiertas por un tejido blando a modo de opérculo.

#### ¿Sabías que...?

Las quimeras no tienen dentículos dérmicos en la piel como sus primos los tiburones y rayas, su piel está desnuda. Solamente presentan dentículos dérmicos en etapas embrionarias.





LA MAREA ESTA CAMBIANDO

# TIBURONES

DE AMOS DE LOS OCÉANOS, A ESPECIES EN PELIGRO DE EXTINCIÓN



Los tiburones han morado los océanos por cientos de millones de años. Predadores perfectos en la cima de la cadena alimenticia, los tiburones han tenido pocos enemigos, hasta que los humanos empezaron a explotarlos.

En las últimas décadas, el surgimiento de la demanda de productos de tiburón-especialmente aletas- ha borrado la línea entre la pesca deseada y la no deseada (incidental).

Solo en Hong Kong, cada año pasan por su mercado de aletas, entre 26 y 73 millones de tiburones y este mercado constituye solo la mitad del comercio global de aletas de tiburón.

Los tiburones que antes se descartaban, generalmente vivos, ahora se conservan para ser comercializados, lo que aumenta la presión sobre las poblaciones de tiburones.

Veintiséis especies de tiburones ahora se encuentran En Peligro de Extinción y otras 115 especies son Vulnerables o casi Amenazadas. La disminución continua de tiburones es señal de la falta de manejo adecuado, de regulaciones y de la aplicación de medidas de conservación para tiburones.

TOP LEFT © ROLAN KPHART; TOP RIGHT © VICTOR WU

## MEDIDAS DE CONSERVACIÓN

Conforme las especies de tiburones siguen disminuyendo en todo el mundo, ha crecido la conciencia de la urgente necesidad de conservarlos. Muchos países han prohibido el aleteo, en un esfuerzo de detener las disminuciones de tiburones y los consecuentes daños a los ecosistemas oceánicos.

La demanda mundial de partes de tiburones y el comercio internacional no regulado, están causando que las poblaciones de tiburones caigan en picada.



## POBLACIONES A LA BAJA

Hoy en día los tiburones enfrentan muchas amenazas. Entre las principales están:

- Sobre pesca;
- Pesca ilegal; y
- Captura incidental.

## LAS MEDIDAS DE CONSERVACIÓN NO SON SUFICIENTES

Los miembros de OSPESCA, la organización de manejo pesquero de la región de Centroamérica, acordó en 2012 implementar legislaciones que mandaten que cuando se desembarquen tiburones, éstos deben tener las aletas naturalmente adheridas a los cuerpos. Taiwán adoptó una legislación similar este año que se implementará completamente el 1 de Enero de 2013. Muchos otros países tienen leyes similares.



Algunos países han creado reservas marinas para tiburones o han implementado Vedas a la pesca de tiburones.

## MEDIDAS DE CONSERVACION POR PAÍS

BAHAMAS	La pesca comercial de tiburones está prohibida	2011
EGIPTO	La pesca de tiburones está prohibida en aguas territoriales del mar rojo.	2005
HONDURAS	La pesca de tiburones está prohibida	2010
ISRAEL	La pesca de tiburones está prohibida	1980
ISLAS MARSHALL	La pesca comercial de tiburones está prohibida	2010
MÉXICO	La pesca de tiburones está prohibida en los meses de mayo a agosto	2011
PALAO	La pesca de tiburones está prohibida	2009
REPÚBLICA DE LAS MALDIVAS	La pesca de tiburones está prohibida	2010

## PROHIBICIÓN DEL ALETEO POR PAÍS

ARGENTINA (2009)	NAMIBIA (2000)
AUSTRALIA	NUEVA ZELANDA (2004)
BRASIL (1998)	NICARAGUA (2004)
CANADÁ (1994)	OMÁN (<1999)
CAPE VERDE (2005)	PANAMÁ (2006)
CENTRAL AMÉRICA (2012)	SAMOA AMERICANA (2012)
CHILE (2011)	SEYCHELLES (2006)
COLOMBIA (2007)	SIERRA LEONA (<1998)
COSTA RICA (2001)	ESPAÑA (2002)
ECUADOR (2004)	TAIWÁN (2012)
EL SALVADOR (2006)	REINO UNIDO (2009)
UNIÓN EUROPEA (2009)	ESTADOS UNIDOS (2011)
MÉXICO (2007)	VENEZUELA (2012)



Los tiburones como este cabeza de martillo, son especialmente vulnerable a la sobrepesca debido a que son muy longevos maduran tardamente y producen pocas crías.

Adicionalmente, ahora se están adoptando medidas de retención de especies de tiburones en tratados pesqueros regionales e internacionales:

#### MEDIDAS DE CONSERVACIÓN POR TRATADO

CIAT	La retención del tiburón oceánico está prohibida	2012
CICAA	La retención del tiburón sedoso está prohibida con la excepción de consumo doméstico en costas de países en desarrollo	2011
CICAA	La retención del tiburón martillo está prohibida con la excepción de consumo doméstico en costas de países en desarrollo	2010
CICAA	La retención del tiburón oceánico está prohibida	2010
CICAA	La retención del tiburón Zorro Ojón está prohibida	2009
WCPFC	La retención, transbordo y desembarque del tiburón oceánico está prohibida	2012

Las reservas marinas y las vedas a la pesca de tiburones ayudan, pero están limitados a pequeñas áreas de los vastos océanos en donde moran los tiburones y no hacen nada por abordar el serio problema subyacente del comercio internacional no regulado.

Más aún, las medidas adoptadas por acuerdos de manejo pesquero regionales están diseñadas para visualizar a los tiburones solo como pesca incidental. No se han creado organizaciones regionales de manejo de pesquerías (OROPs) para la pesca dirigida a tiburones.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha adoptado algunas directrices para las pesquerías de tiburón, pero **no tiene un mandato para manejar pesquerías o para regular el comercio internacional.**

Es necesario regular el comercio internacional, para obtener los datos necesarios a nivel de especie, que se requieren para manejar sustentablemente a las pesquerías de tiburón.

Las capturas de tiburón se reportan por volumen total, de manera que no se cuenta con datos por especie, aunque algunas especies están en mayor peligro que otras.



© JAKE LUDWIG/DEFENDERS OF WILDLIFE

### EL COMERCIO INTERNACIONAL DE TIBURONES DEBE ESTAR REGULADO

La sobre explotación de las poblaciones de tiburones para cubrir la demanda mundial de productos de tiburón está causando la disminución en las poblaciones de algunas de las especies de tiburones. Desafortunadamente, la mayoría de las pesquerías de tiburón se reportan por volumen y no por especie. Así, las prácticas pesqueras no son selectivas y no se monitorean sus efectos en cada especie, aunque pueden variar para cada especie y pueden poner a algunas especies en mayor riesgo que otras.

Lo mismo aplica para el comercio internacional de tiburones. Los productos de tiburón raramente se etiquetan por especie y no pueden reportarse a nivel de especie. Por lo tanto, los administradores pesqueros no cuentan con los datos necesarios para aprovechar sustentablemente a cada especie.

### REGISTRO DE VOTACIONES DE PROPUESTAS DE INCLUSIÓN DE TIBURONES EN EL APÉNDICE II HAN RECIBIDO LA MAYORÍA DE VOTOS A FAVOR

ESPECIE	FAVOR	EN CONTRA	ABSTENCIÓN
Tiburón Ballena ( <i>R. typus</i> ) (CoP12)	81	37	3
Tiburón Peregrino ( <i>C. maximus</i> ) (CoP12)	82	36	3
Tiburón Blanco ( <i>C. carcharias</i> ) (CoP13)	87	34	9
Tiburón Sardinero ( <i>L. nasus</i> ) (CoP15)	84	46	10
Tiburón Martillo ( <i>S. lewini</i> ) (CoP15)	76	53	14
Tiburón Oceánico ( <i>C. longimanus</i> ) (CoP15)	75	51	16

### LA CITES PUEDE SALVAR A LOS TIBURONES

La CITES es el único tratado internacional que tiene el mandato, la experiencia y la capacidad de regular el comercio internacional de vida silvestre, incluyendo especies marinas.

Las propuestas presentadas en las Conferencias de las Partes de CITES (CoPs) para incluir tiburones en el Apéndice II, han recibido el apoyo de la mayoría de las Partes.



Solo mediante la regulación CITES del comercio internacional de tiburones, podremos acabar con la explotación no sustentable ocasionada por la sobre pesca y la pesca ilegal.

Para aprender más sobre nuestros esfuerzos para la conservación de tiburones, visite [www.defenders.org](http://www.defenders.org).





# Notas