UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS

EL CONCEPTO DE ADAPTACIÓN EN UN MUSEO DE CIENCIAS

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN FILOSOFIA DE LA CIENCIA
PRESENTA

ANA ELISA MARTÍNEZ DEL RIO

DIRECTORA: DRA. MARÍA DEL CARMEN SÁNCHEZ MORA

ABRIL DE 2006

A mis padres: **Bertha y Emilio**

por los ojos,

y

por lo que pusieron

delante

y detrás

de ellos

MI AGRADECIMIENTO A:

El apoyo brindado por CONACYT y DGEP.

Al Instituto de investigaciones Filosóficas, UNIVERSUM y en particular al Posgrado en Filosofía de la Ciencia.

Mi tutora María del Carmen Sánchez Mora por su apoyo, disponibilidad y paciencia.

Mis sinodales: Héctor Arita, Axel Barceló, Gloria Valek e Irama Núñez.
Gracias por su tiempo y por la claridad con que compartieron sus ideas.

Mis maestros de arte, filosofía y ciencia: Ana María Sánchez Mora, Carlos López, Julia Tagüeña, Julieta Fierro, Aquiles Negrete, Atocha Aliseda y León Olivé.

Mi familia, Pepe, Paco y Pablo. Gracias por su tiempo, paciencia y comprensión.

Y por su puesto a los cuates: Salvador, Elena, Juan Manuel, Claudia, Armando, Carlo, Fernando, Sylvia, Noemí, Luz, Mónica, Laura, Liliana, Catalina, Martha Elena, Mario, Gisela, Paloma, Ivette, M. Sol y P. Rayo.

INDICE

MARCO TEORICO

INTRODUCCIÓN 1

LOS MUSEOS DE CIENCIA. 3

Una historia en tres actos: I. "Prohibido tocar"; II "Prohibido NO tocar"; "Prohibido no pensar"; El museo de ciencias socialmente pertinente

OBJETIVOS 11

EL CONCEPTO DE ADAPTACIÓN EN LAS CIENCIAS BIOLÓGICAS 12

En fisiología. En biología evolutiva. Adaptación y adecuación. Modos de reconocer una adaptación

EL CONCEPTO DE ADAPTACIÓN FUERA DEL ÁMBITO ESPECIALIZADO 19

Dificultades en la transposición del concepto de adaptación proveniente de la ciencia en la educación básica.

PROPUESTA MUSEOGRAFICA

BIOLOGÍA COMPARADA 28

Excelente herramienta para entender las adaptaciones biológicas. ¿Por qué los ojos?

ORGANIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES 31

MODULO 1 **VARIACIÓN INTRA ESPECÍFICA** 32

Actividades complementarias. 39

MODULO 2 **VARIACIÓN INTER ESPECÍFICA** 40

Actividades complementarias. 46

Animales sin ojos y ojos para llevar 58

MODULO 3 **VARIACIÓN RELATIVA A LOS ECOSISTEMAS** 49

Actividades complementarias 56

DISTRIBUCIÓN DE LAS INSTALACIONES 58

SUGERENCIAS PARA REALIZAR UN ANÁLISIS DE PÚBLICO 60

CONCLUSIONES 63

BIBLIOGRAFÍA 64

TABLAS, FIGURAS Y CÉDULAS

MODULO 1

27 CÉDULA 1 INTRODUCCIÓN A LA EXPOSICIÓN

35 FIG. 1 PANEL MÓVIL. OJOS DE DIFERENTES PERSONAS

FIG. 2 FORMATO PARA IDENTIFICAR LOS OJOS

36 CÉDULA 2. UNA MIRADA A LA MIRADA

37 CÉDULA 3. UN ESPÍA EN LA MIRADA

38 CÉDULA 4. SIN PALABRAS / LAS VENTANAS DEL ALMA

39 FIG. 3 JUEGO PARA PRODUCIR DIVERSOS GESTOS FACIALES

MODULO 2

42 FIG. 4 PANEL MÓVIL OJOS DIFERENTES ANIMALES

FIG.5 EJEMPLO DE LA INFORMACIÓN QUE ACOMPAÑA A CADA IMAGEN

43 TABLA 1. INFORMACIÓN RELATIVA A CADA ILUSTRACIÓN

47 FIG. 6. MIRADA DE ÁGUILA Y OJOS DE HORMIGA

48 FIG. 7 ANIMALES SIN OJOS Y OJOS PARA LLEVAR

MODULO 3

53 FIG. 8 LA MIRADA "UV" DE UNA ABEJA

FIG. 9 DISTRIBUCIÓN DEL PAISAJE VEGETAL MONTADO EN EL DIORAMA

FIG. 10 EJEMPLO DE INTERACCION CON EL DIORAMA

54 TABLA 2 GUIA DE ESPECIES REPRESENTATIVAS PARA CADA SÍNDROME DE POLINIZACIÓN.

55 CÉDULA 5 SI ME AYUDAS TE AYUDO / DANDO, DANDO

56 FIG. 11 FOTOIMANES. CADA UNO CON SU CADA CUAL

57 FIG. 12 AHORA ME VES, AHORA NO ME VES

CÉDULA 6 EJEMPLO DE CAMUFLAJE

59 FIG 13. DISTRIBUCIÓN DE LAS INSTALACIONES

MARCO TEÓRICO

El concepto de adaptación en un museo de ciencias

INTRODUCCIÓN

El panorama general dibujado por los medios de comunicación masiva sobre el quehacer científico parece aseverar que de la ciencia puede esperarse "todo", que lo mismo detalle la estructura del universo que la de un átomo, que cure miles de enfermedades y produzca otras tantas, que acarree la destrucción del planeta así como que nos salve de ella, todo, menos entenderla. Es aquí donde un grupo particular, el de los divulgadores, han hecho suya la tarea de participar al gran público de lo que está hecha la ciencia, de lo que investiga y de cómo, cuando, donde y Quienes lo hacen; de sus alcances y limitaciones actuales; de sus implicaciones sociales y de cómo la sociedad puede incidir en ella, y sobre todo, de que no se trata de algo reservado para "los escogidos" y que los conocimientos producidos no sólo son "importantes" sino también deleitables. Así, para borrar la inherente ininteligibilidad asociada a la ciencia, los divulgadores han echado mano de una gran variedad de recursos, uno de los más complejos, por los elementos y el público que atañe, son los museos o centros de ciencias.

Además de introducirnos a los aspectos de la ciencia en general, la tendencia de los centros de ciencias en las últimas dos décadas ha sido la comunicación de los llamados temas de frontera (nanotecnología, cambio climático, clonación, etc.) y su repercusión social. Uno de estos temas, uno que de hecho se ha convertido en objeto exclusivo o temporal de muchos museos e instituciones dedicadas a la educación científica, ha sido el de la pérdida de la biodiversidad.

El tema de la biodiversidad dentro del discurso museístico ha tendido a incorporar los elementos conceptuales considerados como básicos para la interpretación de los mecanismos que le han dado origen, mantenido y alterado (i.e. procesos y patrones ecológicos y evolutivos).

Dentro de los elementos considerados como básicos para la comprensión de la biodiversidad figuran los conceptos de variabilidad, mutación, herencia, especie, población (conceptos referidos para explicar la organización de los niveles de la biodiversidad), y de manera muy importante los conceptos de adaptación y selección (como conceptos explicadores) (Gutiérrez, 1984; Brumby, 1984; Halldèn,1988; Grau, 1993; López-Manjón, 1996; Prevosti, 1997; Ferrari y Chi, 1998; Sánchez-Mora, 2000; Gándara *et al* 2002)

El presente trabajo constituye una propuesta museográfica diseñada para representar el concepto de adaptación y su relación con los distintos niveles de biodiversidad. Esta propuesta se apoya en el poder heurístico de presentar analogías morfológicas, cuyos atributos han sido examinados y ratificados como adaptaciones por diversas áreas de la biología, que además cuentan con un gran atractivo semiótico: los ojos.

El trabajo se ha dividido en dos partes. La primera de éstas corresponde a la justificación teórica de la propuesta. En esta sección se presenta un panorama general de las estrategias y objetivos de los museos de ciencias, los objetivos planteados para esta propuesta, y un esbozo general del significado e importancia del concepto de adaptación dentro de las ciencias biológicas. En este último punto, se enfatizan las consecuencias epistemológicas de la utilización del término de adaptación dentro y fuera del contexto biológico, a partir de lo cual se señalan las dificultades detectadas para la asimilación de este concepto dentro de la enseñanza de la ciencias biológicas, así como las estrategias reportadas como exitosas.

La segunda parte del trabajo corresponde propiamente a la presentación de la propuesta museográfica. La propuesta consta de tres instalaciones que pretenden esbozar el papel desempeñado por las adaptaciones en distintos niveles ecológicos. La descripción de cada instalación parte de mencionar los objetivos específicos que persigue, los conocimientos biológicos en los que descansa, la descripción de los elementos gráficos, los equipamientos interactivos y los componentes narrativos. Se incluye también, a manera de ejemplo, algunas cédulas informativas que relacionan el contenido biológico mostrado en las instalaciones con aspectos sociales como el valor de la diversidad cultural, la conservación de especies endémicas y la importancia de las investigaciones científicas hechas por mexicanos.

Los museos de ciencia

Una historia en tres actos

I. "PROHIBIDO TOCAR"

Al igual que todos los museos, los museos de ciencia y tecnología, son herederos del coleccionismo medieval y se han desarrollado al mismo tiempo que la sociedad. Sus cambios han dependido de las modas sociales e intelectuales de cada época y su razón de ser ha sido determinada por el poder científico, cultural y, por supuesto, económico (Castellanos, 1998). En Europa los primeros museos públicos en Francia llegaron de la mano de la revolución, cuando en 1793 se nacionalizaron los bienes de la corona y la Galería del Louvre se convirtió en Museo de la República. El imperialismo también dejó su huella museística en colecciones como la del British Museum y en el Louvre mismo, que no sólo exhibían arte e historia, sino también poderío y orgullo nacional.

En la relación poder-institución museística, los museos de ciencia y tecnología (MCT) no son la excepción. En los diferentes países se crearon como muestra del desarrollo científico y desde sus orígenes han tenido vocación educativa (Castellanos, 1998). En Francia, la revolución dio paso al Conservatorio de Artes y Oficios, primer MCT de este país. En Gran Bretaña, The Science Museum surgió gracias a la gran exhibición industrial de mitad del siglo XIX y se fortaleció cuando en 1874 se publicó el *Report of the Royal Commission on Scientific Instruction*, elaborado bajo la presión de influyentes grupos que pedían acciones gubernamentales en la promoción de la ciencia y la tecnología. El informe estableció que la educación científica en secundaria era deficiente y esto hacía que los jóvenes eligieran carreras orientadas hacia las artes y las humanidades (Butler, 1992). Esta fue la piedra angular que logró consolidar The Science Museum, cuyos cambios continuaron a pesar de las guerras mundiales y de haber sido ocupado como sede militar durante ellas.

Después de Gran Bretaña, Alemania tomó el turno con el Deutsches Museum que abrió sus puertas en 1925 buscando exhibir no sólo objetos sino "sus logros positivos para el desarrollo humano" (Butler, 1992).

El otro lado del océano no permaneció impasible. En 1846 el Congreso de los Estados Unidos adjudicó al legado del británico James Smithson (Smithsonian Institution), la función de ser la institución responsable de la investigación y administrador de las colecciones nacionales (Smithsonian Institution, 1983, en Butler, 1992).

II. "PROHIBIDO NO TOCAR"

Estos museos "de ciencias" a penas si se apartaron del esquema museístico clásico, en donde la palabra clave era (y sigue siendo) su colección, en virtud del tamaño y calidad de la cual se podía juzgar la valía de la institución. A pesar de haber transcurrido muchos siglos desde el Museion alejandrino, y a pesar de su carácter público, estos museos seguían siendo ante todo un paraíso para eruditos y estudiosos.

El cambio del MCT en el que los objetos "intocables" eran los protagonistas, al MCT en el que el visitante es el protagonista a través de la "interacción", ocurrió hasta el siglo XX.

Uno de los antecedentes está en The Science Museum, con la Children's Gallery, creada en 1938 por el director del museo, Henry Lyons, quien buscó que los niños aprendieran por sus propios medios cómo funcionaban los desarrollos tecnológicos que se podían ver a través del recorrido por el museo.

En la segunda mitad de la década de los 50 y comienzos de los 60, los educadores norteamericanos inmersos en la "renovación pedagógica", o escuela activa (constructivismo) comenzaron a hablar de otro tipo de museo de la ciencia en el que se podía "hacer" y no solo mirar; el énfasis estaba en comunicar ideas. Las cualidades de un museo participativo serían entonces:

1. Evitar la apariencia autoritaria

2. Estimular al visitante y prestarle atención individual.

3. Hacer que el visitante se sienta libre, haga lo que le interese y se divierta

(Fundación La Caixa, 1985)

Con la implantación de los sistemas multimedia en los museos, entendidos como la combinación de dos o más medios para presentar información, comienza el desarrollo del concepto de "interactividad", es decir, la posibilidad de manipular, tocar, experimentar o interactuar con determinados módulos o exhibiciones del museo para comprobar, realizar o visualizar un determinado fenómeno, principio o ley del mundo natural. Según la investigadora norteamericana Stephanie Koester (1993), los museos son interactivos desde el momento en que el público no sigue una exhibición de manera lineal; esto se completa con la oportunidad de utilizar medios para ampliar la información de la exhibición; con lo que se ampliaron las posibilidades de comunicación con los visitantes y los recursos para la educación.

La característica más evidente de estos museos fue la disminución considerable o, en algunos casos, la ausencia total de "objetos intocables". El énfasis en este tipo de museos fue centrado en los conceptos o fenómenos que se trataban mostrar y no en los objetos que se exponen en sí (Núñez, 2002). Uno de los museos pioneros en la aplicación de nuevas tecnologías a la vida de la institución es The Exploratorium, de San Francisco (USA), proyecto del Dr. Frank Oppenheimer, un físico atómico que quiso crear en su país un museo similar al Deutsches Museum y a la Children's Gallery del The Science Museum. Este físico publicó en 1968 el artículo "A rationale for a science museum" en el que sugirió la psicología de la percepción como principio de las exhibiciones. Oppenheimer se basó en el oído, la visión, el gusto, el olfato, el tacto (incluyendo percepción de calor y frío), estableciendo el ahora famoso "prohibido no tocar" (Butler;1992). Su planteamiento era crear un museo de la ciencia para que los visitantes usaran, tocaran y exploraran el mundo de la naturaleza a través de las exposiciones

Este giro en la forma de presentar los contenidos y la relación establecida con el público marcó el inicio de lo que hoy conocemos propiamente como museos de ciencias. Acorde con el impulso que durante los años sesenta y setenta se le dio a la enseñaza de las ciencias, empezaron a surgir en todo el mundo museos con las características mencionadas.

Éstos se vieron como una excelente herramienta didáctica para personas de todas las edades, pero especialmente para los jóvenes.

III "PROHIBIDO NO PENSAR"

A partir de la década pasada comenzó a establecerse un nuevo modelo de museos ciencias. Estos museos son parecidos a los anteriores en cuanto a contenido, es decir, más que una colección de objetos, lo que se exhibe es una colección de conceptos. La diferencia respecto al discurso museístico planteado durante los años setentas es que los museos llamados de "cuarta generación" proporcionan un "final abierto", una experiencia inmersiva (Padilla, 1999), en donde se enfatiza la promoción de la creatividad y el desarrollo de habilidades, en lugar de los conceptos que comunican.

La interactividad sigue siendo una palabra clave, pero se reconoce que ésta no tiene un significado unívoco ni puede reducirse "a apretar botones". Por interactividad se entiende entonces que las personas puedan involucrarse personalmente con lo que ven. Para J. Wagensberg (1999), la función de los museos de ciencia es tratar de poner al ciudadano en la piel del científico y para ello propone un método museístico al que llama "método de la emoción inteligible". La idea es que el mismo método que se utiliza para comprender la ciencia se emplee en el museo para aproximarse a los conocimientos científicos. Una de las formas de lograrlo es buscando que el usuario controle el mayor número posible de grados de libertad del fenómeno expuesto, pero sin que esto afecte su comprensión. Dicho de otra forma, la verdadera interactividad se da cuando el visitante experimenta las emociones del científico al interactuar con las exhibiciones. Para este mismo autor existen tres etapas de interactividad que llevan hacia la emoción científica. La primera de éstas es la llamada "interactividad manual", que es tan sólo el principio del proceso y en la que muchos museos se estacionan y con la que pretenden justificar su calidad de museos interactivos. La interactividad manual consiste en tener un acceso físico al proceso o equipo mostrado, pero sin ninguna retroalimentación y normalmente de manera pasiva. En muchos museos este acceso manual se ha viciado al grado de que provoca un acercamiento pobre o nulo a la ciencia si no se complementa con la "interactividad mental", en la que la mente del visitante sufre cambios entre el antes y el después de la visita. La tercera forma, en la que se

alcanza realmente la interactividad, es la llamada "interactividad emocional" y en la que intervienen factores sensoriales, sociales, históricos, estéticos, morales o de la vida cotidiana del visitante y que se conectan con su faceta sensible. Tomando estas ideas en consideración, se observa la importancia de preguntar si, al diseñar sus equipos, los museos de ciencia han superado la etapa de la interactividad manual y no se han conformado con que el visitante "oprima un botón, que abre un grifo, que al dejar caer agua en una manivela hace que ésta prenda un foco que ilumina una mampara saturada de información escrita", caricatura que utilizan Sánchez-Mora y Tagüeña (2003) para retratar a la "falsa interactividad".

Pero aún cuando el proceso interactivo sea "exitoso" en términos de que ocasione el impacto intelectual o emocional esperado, hay museógrafos como Michel Van-Praët (presidente del Comité Nacional Francés del Consejo Internacional de Museos -ICOM) que advierten sobre la peligrosidad de la interactividad. En primer lugar apunta que no todos los procesos que llevan a un descubrimiento pueden plantearse de manera interactiva, pues muchos de ellos (la reflexión, la lectura, el momento "eureka") ocurren fuera del laboratorio. Además, argumenta Van-Praët, puede darse la imagen de que cualquier científico que lleve a cabo un experimento obtendrá un resultado "Se necesita un equilibrio, entre objetos materiales y experiencias interactivas, para empujar al visitante a reflexionar tanto sobre la ciencia como sobre cuestiones sociales que ésta comporta, las cuales la convierten en algo de dominio público y no sólo de los científicos exclusivamente" (Van-Praët, 2001)

EL MUSEO DE CIENCIAS SOCIALMENTE PERTINENTE

Otros rasgos definitorios de los nuevos museos de ciencias son la introducción de temas de relevancia social (como la sustentabilidad, la bioseguridad, la equidad, las polémicas científicas y el equilibrio entre el conocimiento universal y el local).

Un buen ejemplo de lo que quiere decir "socialmente pertinente" dentro de la museología puede encontrarse en el artículo "*Lo "glocal", nueva perspectiva para desarrollar museos de ciencia*" de Reynoso, Sánchez- Mora y Julia Tagüeña (2005). En éste artículo las autoras reflexionan sobre como equilibrar el contenido de una exposición

para que ésta cumpla con mostrar la actualidad del quehacer científico a nivel mundial y que a la vez aterrice tal conocimiento en la experiencia local de la comunidad a la que se dirige.

La preocupación de las autoras por lograr tal equilibrio es el siguiente: por un lado (por el lado de lo global) se observa una relación recíproca entre el fenómeno de globalización y el desarrollo científico y tecnológico. De manera que, "para ser ciudadano del mundo", para pertenecer a la "sociedad de la información", para lograr el ideal de "democracia participativa", se requiere que el grueso de la población cuente con un mínimo de información respecto de estos avances científicos y tecnológicos. Por otro lado (por el lado de lo local) ocurre que tales conocimientos necesariamente serán enfocados a partir de las situaciones locales, las cuales guardarán siempre una configuración única dada por los contextos sociales, culturales, económicos e históricos de la comunidad que lo visita. Paradójicamente, comentan Harcourt y Escobar (2002,) "lo local" tiende a verse como "lo estático, lo contrario al progreso" y por lo tanto suele ser minimizado y considerado como próximo a desaparecer.

Ante esta situación, lejos de querer situarse en un cómodo punto medio, las autoras argumentan que una visón "glocal" busca cumplir un compromiso social entre lo global y lo local. El primer paso en tal dirección consiste en "considerar la cultura nacional o regional, los proyectos que de ellas puedan emanar, la comunidad que está involucrada en estos proyectos y los problemas que le atañen". El segundo paso sería difundir tales proyectos para crear un sentimiento de pertenencia (acercamiento afectivo) y un ambiente propicio para comunicar conocimientos que impliquen un mayor rango de acción (más globales). Un tercer paso sería entonces "abordar al visitante no sólo como usuario, sino como interlocutor, lo que implica abandonar el modelo vertical de comunicación usual en este tipo de museos, del que sabe al que no sabe, para dar paso al intercambio de saberes en un proceso de comunicación continua, en el cual la equidad y la tolerancia hacia la diversidad sean premisas fundamentales.

En esta búsqueda de la tolerancia y la democracia, más que considerar a la ciencia como disciplina, deberá abordarse el conocimiento y la comprensión del quehacer científico, es decir, el proceso que implica hacer ciencia, en el cual la objetividad, la

capacidad de elaborar modelos de la realidad, la verificación experimental y la aceptación de que un error implica un cambio de modelo, nos hacen sin duda ser más tolerantes y menos dogmáticos.

La integración de lo global a lo local tendrá entonces que enfatizar temas de particular importancia en cada país o región, que han sido abordados por sus pobladores a lo largo su historia (por ejemplo aspectos hídricos en la Cd. de México, tectónicos en Oaxaca, etc.)

Tal reflexión va muy de la mano de las declaraciones de Van-Praët para quien :

> El mejor museo de ciencias que podemos imaginar ha de estar en consonancia con el lugar donde se sitúa, la sociedad y la historia. Por lo tanto, el museo de ciencias perfecto en Canadá, Barcelona o Kenya no será el mismo. Sin embargo, ha de contar con las características de: 1) incitar a saber más y 2) implicar a la población en temas que han sobrepasado las cuestiones estrictamente científicas y se han convertido en hechos sociales y políticos. Es decir, ha de dar idea de que los científicos ayudan a generar conocimiento y que cuando éste se convierte en algo de interés social, como las cuestiones energéticas, biotecnológicas o medioambientales, el visitante ha de poder interesarse. Y es que la comunidad científica domina una parte de la experiencia, pero, en el fondo, cada individuo no posee más que una parte de la globalidad; hasta un premio Nobel tiene limitaciones, no posee el conjunto. En cambio, hay que tender hacia la idea que un museo ha de mostrar una cuestión y generar un debate para que la sociedad pueda efectuar una elección.

El hecho de que no exista un modelo universal de museo de ciencias, no implica que no se hayan alcanzado ciertos consensos acerca de las características necesarias para producir una exposición exitosa. Podremos calificar de "exitosa" aquella exposición capaz de provocar las llamadas "experiencias fluidas", esto es, situaciones que provoquen saber más y experimentar retos intelectuales (Csikszentmihaly y Rochberg-Halton, 1981). Sánchez-Mora y Tagüeña (2003), tras más de diez años en experiencias museísticas nos dicen que "la experiencia nos ha enseñado que la tendencia en el diseño debe ir hacia la consecución de experiencias educativas de calidad, que se caracterizan por:

• Dar la oportunidad al visitante de que haga conexiones entre la experiencia que vive en el museo y las de su propia vida.

• Permitir que el visitante personalice la información que se le presenta, lo que asegura que haga propia la experiencia de aprendizaje.

• Reconocer que los diferentes tipos de aprendices (visitantes) prefieren diferentes estrategias y estilos de aprendizaje y, por tanto, hay que ofrecer todas las oportunidades posibles.

• Permitir una gran variedad de puntos de entrada (ganchos) y de salida en los equipos, que permitan a los visitantes seleccionar los puntos que mejor se ajusten a sus necesidades personales.

• Presentar los temas complejos en etapas progresivas, de manera que el visitante pueda seleccionar el nivel y la complejidad de la información que necesita y desea.

• Tener como una meta importante el reforzar conocimientos previos y, ocasionalmente, ayudar a reconstruir comprensiones, actitudes y conductas.

• Introducir la emoción en la experiencia de aprendizaje, con humor, discrepancias, finales inconclusos, interacciones humanas, etcétera.

• Hacer las experiencias de aprendizaje gratas y entretenidas. Tener claro que la diversión y el aprendizaje no son excluyentes, sino que la presencia de ambos es esencial para lograr experiencias de calidad en los museos.

• Buscar diseños que aseguren que lo que se va a aprender de un equipo se relacione claramente con las necesidades e intereses del usuario. Para empezar, debemos propiciar que al participar en la experiencia de aprendizaje el visitante tenga una sensación de ser respetado y que el valor personal y los beneficios que le proporcionen el participar en la experiencia del aprendizaje deben estar muy claros.

• Proporcionar retos y recompensas a las habilidades que el visitante haya autodefinido.

Objetivos

Los objetivos principales de este trabajo son:

- Contribuir a la difusión de conocimientos científicos básicos para la comprensión de la biodiversidad y la evolución
- Presentar una propuesta museográfica capaz de motivar el interés y la reflexión en torno al concepto de adaptación biológica y sus implicaciones ecológicas

Los objetivos particulares son:

- Ejemplificar los tres niveles principales en los que se distribuye la biodiversidad, así como llamar la atención respecto a la importancia de preservar cada uno de ellos.
- Brindar elementos de reflexión en torno a los factores implicados en la desaparición de las especies.
- Difundir los resultados de investigaciones realizadas por mexicanos sobre la vulnerabilidad del ecosistema xérico característico del Valle de Tehuacan-Cuicatlán.
- Proponer un esquema para el análisis del impacto afectivo y cognitivo en los visitantes

El concepto de adaptación en las ciencias biológicas

Uno de los conceptos básicos dentro de la biología es el de adaptación. Pese a ello, ocurre que dicho concepto goza de varios usos y significados dependiendo del área de especialización en el cual se nombre.

A *grosso modo* el concepto de adaptación forma parte de dos submodelos: el fisiológico y el evolutivo. Estos modelos a su vez son herederos de los dos campos en que tradicionalmente se ha divido la investigación biológica: la biología de las causas inmediatas o biología funcional y la de las causas mediatas o biología evolutiva.

A principios del siglo XX no existía comunicación entre estos dos campos. Los biólogos funcionalistas tendían a ser fisicalistas e induccionistas, es decir, aceptaban cómo única metodología de estudio la experimentación; mientras, los evolucionistas se inclinaban hacia el punto de vista opuesto, limitándose a la observación y a la comparación (Fanjul y Gonsebatt, 1999) Lo cierto es que ambos modelos basan sus argumentos en las funciones adaptativas de las estructuras o funciones estudiadas.

EL CONCEPTO DE ADAPTACIÓN EN FISIOLOGÍA

Siendo que la fisiología se ocupa del estudio de la forma y función de los órganos y sistemas que componen a un organismo, la explicación de fenómenos como la osmoregulación, la termorregulación, la visión, etc. sólo tiene sentido a través de una "lógica adaptativa". Ejemplos abundan: la estructura aereodinámica de las aves, la conformación del ojo, los mecanismos de polinización en las orquídeas, etc. Así, en fisiología, la pregunta fundamental no es si el órgano o proceso estudiado constituye una adaptación, la fisiología da por hecho que ésta existe y su cometido es el estudio de cómo opera.

Dentro de este modelo, la adaptación se observa como cambios biológicos de pequeña magnitud (observados en un unos cuantos individuos) en los que se puede recuperar el estado inicial (son reversibles), tales cambios ocurren de manera recurrente y se realizan con *conservación de la entidad biológica,* esto es, la información genética permanece estable (Gándara-Gómez *et al,* 2002). Así, autores como Bock restringen el término sólo a los componentes fenotípicos[1], centrándose en la descripción detallada de un rasgo en particular o en el servicio que presta a su poseedor, más que en sus orígenes. Es decir, la adaptación es apreciada más como un proceso que como un hecho, lo cual no quiere decir que los fisiólogos no presten atención al carácter evolutivo de los rasgos que estudian. Por el contrario, la fisiología ha provisto numerosas evidencias en apoyo a la evolución. En particular, los estudios de la fisiología de diferentes grupos animales han llamado la atención sobre la analogía de algunas estrategias en individuos procedentes de diferentes linajes evolutivos, concluyendo que tales estrategias deben de constituir una adaptación. En la naturaleza encontramos numerosos ejemplos de ello, uno de los que más ha llamado la atención de los fisiólogos es el que respecta a la regulación de la temperatura, pues es una estrategia altamente repetida a través de la escala filogenética. No se puede decir que la homeotermia[2] sea una estrategia restringida a aves o mamíferos, pues también la encontramos en algunos insectos que son capaces de generar su propio calor interno a través de mecanismos tales como la contracción muscular. Por otro lado, en animales ectotermos [3] la conservación de la temperatura involucra patrones conductuales encaminados a cumplir la misma función. Ello implica que para desarrollar estos patrones debieron a su vez surgir centros nerviosos con el mismo objetivo, el mantenimiento de la temperatura corporal con una mayor eficiencia energética a costa de una menor eficiencia en otras funciones como la locomoción. Observaciones como éstas han devenido en entusiastas afirmaciones como las de Margalef (1991), para quien:

---

[1] Se denomina fenotipo a la manifestación visible del genotipo (información genética) en un determinado ambiente. El fenotipo de un organismo individual es cualquier total de la apariencia física y constitución, o una manifestación específica de un determinado rasgo, como el color de la piel que puede variar deacuerdo al ambiente.

[2] Homeotermia, capacidad de ciertos organismos, llamados también endotérmicos o "de sangre caliente", para regular su temperatura corporal y mantenerla dentro de ciertos límites, independientemente de la temperatura ambiental.

[3] También conocidos como "animales de sangre fría" a causa que su temperatura corporal es la misma que la del ambiente. Ejemplos de ello son los peces, los anfibios y la gran mayoría de reptiles e invertebrados

"una temperatura constante optimiza simultáneamente un gran número de reacciones enzimáticas y todo lo que ayude a conseguirla es recogido por la selección natural. La evolución hizo de la necesidad virtud, consiguiendo la homeotermia en una situación de sobrecalentamiento, abriendo así la puerta a una manera de facilitar la supervivencia a entornos fríos o de temperatura fluctuante"

Si bien la perspectiva de que " La evolución hizo de la necesidad virtud" puede parecer teleológica se debe netamente al lenguaje utilizado, ya que como afirma Francois Jacob (1974), la perspectiva seleccionista (evolutiva) nos permite "remplazar la intención, el designio que parece guiar la evolución del mundo viviente, por un sistema de causalidad física" (en este caso la necesidad de regular la temperatura). Así, "uno de los grandes méritos de Darwin", diría Julian Huxley (1965) contradiciendo a su abuelo Thomas, sería el haber mostrado que "la finalidad de la estructura y función orgánica es sólo aparente" y que "la teleología de la adaptación es una *seudo teleología* que puede explicarse por verdaderos principios mecanicistas, sin la intervención de un propósito conciente o subconsciente por parte del organismo por parte de algún poder exterior".[4]

EL CONCEPTO DE ADAPTACIÓN EN BIOLOGÍA EVOLUTIVA

Dentro de la terminología evolutiva, cuando se habla de *la adaptación de* "x" *organismo,* se entiende que la composición genética de "x" población ha cambiado en el tiempo (que suele ser enunciado por el número de generaciones trascurridas) como respuesta a una presión selectiva (factores ambientales, disponibilidad de parejas, etc.)

Dentro de la óptica evolucionista la adaptación solo puede ser medida en términos poblacionales (no individuales como ocurren en fisiología), dado que es la dinámica demográfica la que refleja cual combinación de caracteres ha resultado óptima no sólo para sobrevivir, sino para dejar descendencia.

---

[4] Hay sin embargo quien ha defendido la explicación teleológica desde la epistemología como algo peculiar de la biología, afirmando que «para los biólogos, propósito es igual a función» (López Manjón, 1996). De hecho, es fácil encontrar justificaciones en pro del uso de la teleología dentro de la comunidad científica actual de biólogos. Por ejemplo, Ayala (Dobzansky et al., 1980) explicita que las adaptaciones de los organismos son teleológicas en el sentido de indeterminadas, interviniendo en su producción procesos aleatorios

El argumento presentado en El Origen de las Especies se basa en la proposición de que el mundo orgánico puede y debe ser comprendido en función de las adaptaciones (variaciones útiles) que allí se manifiestan, sin que para ello sea necesario apelar a la idea de un artífice supremo. Malamente el argumento darwinista suele reducirse a la desafortunada frase: "la supervivencia del más apto"[5]. Lo que ha dado a los críticos materia suficiente para tachar la teoría como una tautología, cuando el más apto se define como el que sobrevive. Si esto fuese así, evidentemente la teoría sería siempre cierta, o lo que es lo mismo sería infalseable como clama Popper (1976) en "Darwinism as Methaphysical Research Programme".

La idea básica de la explicación darwineana requiere algo más que una frase. A decir de Endler (1986) se trata de un silogismo:

1. Existe variabilidad dentro de las especies y parte de esta variabilidad es heredable.
2. Las condiciones ambientales determinan qué "variables" son capaces de reproducirse[6]

Por lo tanto,

los individuos de la siguiente generación están (en promedio) mejor adaptados[7]

Es decir, el sobrevivir y dejar descendencia no es un hecho determinado puramente por el azar. Por lo tanto existe una correlación entre las características biológicas (heredables en buena medida) de los individuos y sus probabilidades de sobrevivir y dejar descendencia. El resultado final es doble: por un lado, la progresiva diversificación que resulta en la aparición de nuevas especies, y por otro, el incremento en el "ajuste" o adaptaciones de los organismos a su medio (físico o biológico).

---

[5] Esta frase suele ser vinculada con la teoría de la evolución pronunciada por Darwin aún cuando no fue él, sino Spencer en 1862 quien influenció su inclusión en las ediciones posteriores de El origen de las especies.
[6] Se parte de la observación de que el potencial reproductivo de las especies está muy por encima de los valores de sobrevivencia encontrados en la naturaleza; es decir, la mayoría de la descendencia muere o tiene fecundidades reducidas debido a la escasez o baja calidad de los recursos y/o acción del clima o de otras especies.
[7] . De a cuerdo con el Origen de las Especies, "adaptación" es la cualidad de los seres vivos de ser "armónicos", de estar bien integrados con su medio.

La explicación de la especiación por el argumento anterior es patentemente no tautológica: el concepto explicado (especiación y adaptación) es independiente del concepto explicador (reproducción y sobrevivencia diferencial) (Soberón, 1999). Sin embargo, para muchos evolucionistas el concepto de adaptación es algo más rico que una mera medida de sobrevivencia y reproducción (sumados se denominan adecuación).

ADAPTACIÓN Y ADECUACIÓN

Cuando un biólogo (de cualquier tipo) habla de una adaptación, por lo general tiene en mente una solución elegante, de "buena ingeniería", posiblemente óptima, dadas las circunstancias a un "problema medio ambiental" planteado a varias generaciones de organismos (Soberón, 1999). Por lo tanto adaptación no es sólo la capacidad de sobrevivir (ajustarse a su medio) y reproducirse, es el conjunto de estructuras y patrones conductuales que le permiten al organismo realizar tales funciones.

Aunque es muy lógico pensar que aquellos organismos bien adaptados sean también organismos con altas tasas reproductivas y posibilidades de sobrevivir, adaptación y adecuación no están ligados de forma lógica. Adaptación no equivale a adecuación, un concepto no está contenido dentro del otro (como sostienen los que creen que existe tautología), y es perfectamente posible encontrar ejemplos de individuos excelentemente adaptados, con baja o nula adecuación y viceversa[8].

Esto ha sido causa de muchos malentendidos[9], ya que como puede verse el concepto de adaptación es menos objetivo, difícil de medir y de concretar, mientras que la eficacia biológica está bien definida, es universal y es relativamente fácil de medir. La distinción entre una cosa y otra es difícil de encontrar en los textos especializados y casi inexistente en los textos informativos.

---

[8] Un individuo muy bien adaptado a su ambiente concreto (metabolismo eficaz, órganos eficientes, instintos ajustados, etc) puede ser estéril y por tanto "muerto" (adecuación = cero) desde el punto de vista de la selección natural. En cambio puede ocurrir que otro individuo tenga muchos descendientes siendo portador de estructuras o comportamientos *antiadaptativos*. El clásico ejemplo es el de la anemia falciforme (enfermedad mortal para los homocigos de este alelo recesivo) que se presenta en altas proporciones en ciertas poblaciones de África, ya que la versión heteróciga de dicho alelo confiere una cierta inmunidad contra la malaria.

[9] Entre ellos Popper, quien pensó que la selección natural tenía valor científico como axioma pero no como teoría explicativa de los fenómenos naturales. Finalmente Popper entendió que la aptitud y la eficacia biológica están desligadas y acabó retractándose de su error.

Cabe mencionar que durante gran parte de la primera mitad del siglo XX, la teoría darwiniana de la selección natural no fue ampliamente aceptada. Se hizo respetable sólo después de que Fisher, Wright y Haldane demostraron que incluso una ligera ventaja selectiva podría producir la fijación de un alelo, y después de que Dobzhansky y Ford demostraron que algunos polimorfismos naturales estaban sujetos a selección apreciable (teoría sintética de la evolución). Entonces se extendió la idea de que virtualmente cualquier diferencia genética, sin importar lo pequeña que sea, tenía un significado adaptativo.

Goul y Lewontin (1979) aplicaron el término "programa adaptacionista" al punto de vista que supone *a priori* que todos los detalles de la morfología, fisiología y comportamiento de los organismos son *soluciones* adaptativas a los *problemas* planteados por la naturaleza, y que las diferencias entre especies son invariablemente debidas a la adaptación a diferentes factores selectivos. Como señaló Williams (1966), la adaptación es un concepto especial y oneroso que debería usarse sólo cuando es realmente necesario. La biología nos obliga a reconocer que los organismos no están diseñados óptimamente, que muchos caracteres no son adaptativos, y que las especies pueden diferir por razones diferentes a la selección natural (mutación, deriva genética, aislamiento reproductivo)

MODOS DE RECONOCER UNA ADAPTACIÓN

Como implica la etimología de la palabra, una adaptación adecua a su portador a algo. Sin embargo, a veces es difícil reconocer las adaptaciones, porque no todos los caracteres de los organismos son adaptaciones.

Tendemos a sospechar que un carácter es adaptativo si es complejo, pues la complejidad requiere un principio organizador como la selección. La complejidad es difícil de medir y a veces está en controversia pues no todas las adaptaciones son complejas. No obstante, la intuición biológica puede ser una guía útil. Se necesitaron muchos años para demostrar que las ámpulas de Lorenzini de tiburones y rayas tienen una función (ayudar a localizar presas en el barro), pero su estructura ya predecía que debían tener alguna función.

Aunque una estructura o patrón complejos son típicamente adaptativos, las variaciones en los componentes individuales de esa estructura no lo son necesariamente. Por ejemplo, la hemoglobina es una adaptación, pero algunas de las diferencias estructurales entre las hemoglobinas de una misma especie probablemente sean neutrales. Demostrar la función puede ser difícil. En muchos casos, la adaptación puede deducirse de la correspondencia entre la forma de una estructura y el diseño que un ingeniero haría para una función particular. Por ejemplo, las alas estrechas y afiladas de los halcones se adecuan a las especificaciones aerodinámicas necesarias para el vuelo rápido y sostenido, mientras que las alas cortas y redondeadas de los halcones de bosque son apropiadas para la maniobrabilidad y la aceleración rápida.

El método comparativo, que ha sido ampliamente utilizado desde que fue introducido por Darwin, proporciona pistas sobre la adaptación al correlacionar diferencias entre especies con factores ecológicos. Este método es más potente cuando la inferencia se basa en patrones de evolución convergente[10]; por ejemplo, podríamos inferir que la ausencia de hojas en las cactáceas es una adaptación a las condiciones áridas a partir de la incidencia de este carácter en muchas plantas del desierto, o que la corola roja y tubular de muchas plantas no relacionadas es una adaptación a la polinización por colibríes.

Como dice Dawkins (1987), las similitudes convergentes, aunque superficiales, son demostraciones espectaculares de la acción de la selección natural al agrupar a los "diseños funcionales adecuados". Si un diseño es suficientemente "bueno", es lógico pensar que éste u otros similares tienen una alta probabilidad de aparecer (*repetirse*) desde diferentes puntos de partida y en diversas direcciones del reino animal.

[10] La evolución convergente se define como la evolución de características similares, o parecidas, en taxa distantes genealógicamente y, en general, con características previas diferentes o a través de vías de desarrollo distintas.

El concepto de adaptación fuera del ámbito especializado

La intención de este capítulo es indagar sobre los problemas que detectados para la correcta interpretación del concepto de adaptación biológica con el fin de determinar el rumbo ideal que ha de tomar el ejercicio de elaborar una propuesta para promover tal conocimiento.

Diversos autores (Gutiérrez, 1984; Brumby, 1984; Halldèn,1988; Grau, 1993; López-Manjón, 1996; Prevosti, 1997; Ferrari y Chi, 1998; Sánchez-Mora, 2000; Gándara Gómez *et al* 2002,) coinciden que habrá que empezar por considerar las concepciones alternativas que poseen los estudiantes acerca de éste y otros términos involucrados en la comprensión de las explicaciones evolutivas.

Por concepciones alternativas se considera a las ideas que reflejan un pensamiento propio, relativo a la experiencia previa a la enseñanza, que surgen por interacción con la vida cotidiana y que son resistentes al cambio (Grau, 1993). En el campo de la enseñanza de la evolución, algunas de las ideas alternativas que han sido ampliamente reconocidas por los investigadores de la educación como dificultades en la enseñanza de la evolución son las relativas al concepto de variación y su origen, las explicaciones teleológicas, lamarckianas y antropomórficas; la ausencia de pensamiento poblacional, la idea de que la evolución ocurre como un cambio simultáneo en todos los miembros de una población; la falta de claridad entre los niveles individual, poblacional y de especie; la percepción de adaptación en el sentido cotidiano de aclimatación; el no darle importancia a la variación genética, o desconocer sus orígenes y suponer que el ambiente es el responsable directo de la dirección de los cambios en los organismos; la adecuación como medida de la fuerza; la interpretación errónea del termino "lucha por la existencia" y sobre todo el uso inadecuado del concepto de "necesidad" para indicar un cambio en los caracteres como proceso adaptativo (Sánchez-Mora, 2000)

El interés por identificar cuales son las ideas alternativas de los estudiantes radica en que pueden considerarse como el punto de partida para el diseño de estrategias para

alcanzar el aprendizaje significativo[11] de las concepciones científicas. Lo anterior implica ocasionar el cambio de una concepción preexistente, meramente empírica, por otra con bases científicas.

En el caso de la enseñanza de la biología, la evolución a través de la teoría de la selección natural ha sido uno de los temas en donde ha habido un mayor interés por buscar el cambio conceptual. Las investigaciones al respecto han concluido que para lograr este cambio es necesario tomar en cuenta el conocimiento que se tiene (ideas alternativas), mostrar la relación de los temas evolutivos con los cotidianos (contextualizar), abordar conceptos elementales como especie, población, tiempo geológico, herencia, adaptación y adecuación, y de manera muy importante utilizar ejemplos, demostraciones y analogías por cuanto pueden funcionar como facilitadores del aprendizaje del aspecto teórico de la teoría de la evolución.

El papel de las analogías en la construcción personal de nuevos conocimientos ha sido abordado desde diversas perspectivas, como la psicológica, la cognitiva y la educativa (Acevedo, 1990). Sánchez Mora (2000) argumenta en favor de conceder a las analogía un papel preponderante dentro de la enseñanza, al considerar el papel que estas juegan en el desarrollo del pensamiento científico. De hecho, los resultados obtenidos por esta autora en su investigación sobre diversas metodologías empleadas para comunicar la teoría de la evolución, muestran que el uso de analogías (como la del relojero ciego de R. Dawkins y la selección artificial propuesta por Darwin) reducen significativamente las concepciones erróneas sobre la evolución, en tanto que proporcionan inteligibilidad y plausibilidad a conceptos complejos como son la mutación, el tiempo geológico, gradualismo y saltacionismo.

Para Gándara-Gómez, Gil-Quílez y Sanmartí-Puig (2002) otra problema dificultad importante a considerar dentro de la enseñanza de la evolución, y particularmente del concepto de adaptación, es la relativa a la transposición[12] del concepto de adaptación

---

[11] El aprendizaje significativo es el proceso a través del cual nuevas informaciones adquieren significado por intervención (no asociación) con aspectos relevante preexistentes en la estructura cognitiva del aprendiz, los cuales a su vez también se modifican durante este proceso (Ausbel et al, 1995)

[12] La teoría de la transposición didáctica (Chevallard, 1992) sostiene que, para que los saberes que producen los científicos puedan vivir en el aula, tienen que ser transformados, resultando éstos cualitativamente diferentes.

biológica de la literatura especializada que habitualmente se utiliza en la universidad (como Alberts, Dobzhansky, Ayala, Ganong, Lewontin, Margalef, Mayr) a los libros de texto de la educación media básica en España (varios de los cuales han sido adoptados por el sistema educativo mexicano).

Una de las primeras observaciones que nos comparten Gándara-Gómez *et al* es que tanto en la literatura especializada como en los libros editados en España para la educación media-básica (secundaria en México) se encuentran ambigüedades, omisiones y contradicciones que actúan como distractores, en el sentido de que dificultan la configuración del modelo desde el que se define adaptación. Dichas dificultades emergen al analizar las redes sistémicas en su dimensión ontológica, cuando la adaptación funciona como un objeto de conocimiento de naturaleza empírica y también en la dimensión epistemológica cuando la adaptación funciona como una herramienta conceptual para explicar y predecir otros conceptos y hechos.

Las imprecisiones de las relaciones causales en la transmisión del concepto de adaptación, tanto en el contexto evolutivo como en el fisiológico, que dificultan la comprensión del concepto de selección de acuerdo con Gándara *et al* son :

I. La participación del material genético y la herencia en el proceso de adaptación

El término adaptación en calidad de proceso sólo se utiliza cuando el objeto de estudio es la evolución y no la fisiología. Pudiendo ocurrir que:

a) la adaptación sea descrita unas veces como un hecho causal de la evolución y otras, como una consecuencia de la evolución;

b) un mismo fenómeno (p.e., la resistencia de insectos a antibióticos) sea descrito usando la herramienta conceptual de la adaptación y otras veces, prescindiendo de ella.

c) en un mismo discurso se hagan diferentes usos de la relación en cuestión. La variabilidad puede ser presentada como un factor de la adaptación y la adaptación, como un factor de la variabilidad

d) variabilidad genética y adaptación no siempre van asociadas, al menos de forma explícita.

En consecuencia, los estudiantes son instruidos para poder explicar la variabilidad genotípica y fenotípica sin tener que nombrar la adaptación. Recíprocamente, el estudiante podría intentar explicar o describir la adaptación sin tener que considerar el cambio genético. Si a esto añadimos que ni en la literatura especializada ni en los libros de educación básica (EB) hay criterios claros para establecer qué hay de heredado y qué hay de adquirido en cada fenotipo, no queda suficientemente justificado el rechazo al lamarckismo a pesar de la clara insistencia por parte de los libros de secundaria en afirmar lo contrario.

II. La relación entre adaptación y selección natural

Ocurre que mientras en la literatura científica la selección interviene para explicar la adaptación, en la educación básica el objeto de estudio es la selección natural, y se recurre a la adaptación para explicar la selección. De esta forma, mientras que, para los científicos, la actuación de la selección natural sobre un rasgo determinado puede considerarse como respaldo a la aseveración de que tal rasgo constituye una adaptación, en los libros de texto escolares sucede que la adaptación es considerada como una evidencia a favor de la existencia de la selección natural, y como tal, no requiere demostración:

El hecho de que no se explicite la diferencia entre una adaptación y la adaptación invita a construir una identidad entre rasgo y proceso. De esta forma se genera una argumentación circular de la que se desprende una relación de identidad entre la adaptación, la selección natural y la evolución. Así, cuando en los libros de texto vemos formuladas preguntas tales como: «¿Cuáles son las características más llamativas del dromedario? ¿Y las de la jirafa? ¿Qué características son claras adaptaciones a su medio?» (Primer curso de secundaria), es posible que lo que se busque sea más la coherencia lógica, que explicar los hechos.

III. La entidad o sistema biológico que experimenta la adaptación

La integración del modelo fisiológico y evolutivo, parte del reconocimiento de que la selección actúa sobre los individuos y la evolución ocurre al nivel de las poblaciones. Sin embargo, los estudios citados detectan que tal distinción rara vez se manifiesta en el discurso escolar, lo que se traduce en una confusión respecto a la escala en la que operan la selección natural y la evolución. Así, Sánchez-Mora reporta que una de las mayores dificultades que tienen los estudiantes de secundaria y preparatoria para la comprensión del proceso evolutivo en general es que consideran que los cambios que se observan en un organismo, ocurren simultáneamente en toda la población

IV. El lenguaje

Diferentes discurso educativos suelen sucumbir a la tentación de atribuir a la Naturaleza nuestra escala de valores y magnitudes. Los cambios ambientales son "grandes" o "pequeños", las temperaturas "altas" o "bajas", las magnitudes se representan como "hostiles" o favorecedoras". De esta manera los actos "selectivos" se presentan como una entidad teleológica (voluntad suprema) que "decide" la permanencia o desaparición de tal o cual especie. Con la selección natural ocurre un fenómeno similar, a veces se habla de la selección natural como si se tratara de una persona capaz de "optar", "elegir" o "decidir", despojándola de su estatus de principio. Lo anterior abre la puerta a interpretaciones creacionistas en las que existe algo o alguien que manipula o controla los fenómenos biológicos. Más cuando en ningún caso se exponen argumentos en contra del creacionismo, de manera explícita, como sí se hace contra el lamarckismo. De tal manera, la aceptación del estatus de adaptación puede ser más una cuestión de fe en el criterio de autoridad que de convicción por los datos a la luz de criterios claramente establecidos.

V. La relación entre el cambio estructural y la adaptación

a) **Cuando se transponen las inferencias retrodictivas** (predicciones sobre el pasado) **como hechos directamente observables**. Un ejemplo socorrido es el de la evolución del esqueleto a partir de un dibujo donde se representan los esqueletos

de extremidades anteriores (hombre, delfín, topo, caballo, perro y elefante [los huesos «húmero», «cúbito» y «radio» aparecen numerados, en cada extremidad]), en el que se pide responder «¿Cuáles son las extremidades que están más transformadas [...]? ¿Qué adaptaciones se pueden observar en las extremidades? ¿Cómo favorecen estas transformaciones la adaptación del animal al medio?» (Tercero de secundaria)

Ciertamente tales estructuras pueden contarse como transformaciones, pero ¿de quién? ¿Cómo era ese antecesor común? ¿Por qué tiene que presuponerse que existió un antecesor común?

b) **Cuando la adaptación *produce* las diferencias**. Se puede interpretar la relación opuesta a la anterior, a través de ejemplos similares (las convergencias y divergencias evolutivas): «Los órganos homólogos tienen la misma estructura, pero están adaptados a diferentes funciones, como las extremidades anteriores de los mamíferos. Sus diferencias se deben a la adaptación a diferentes medios»

Parece poco probable que un «aprendiz» vea esas estructuras como la misma. Más bien, lo evidente en el contexto escolar es que tales estructuras son muy diferentes.

c) **Cuando es mejor *no hablar* de adaptación: cambios macroevolutivos**. Tal pareciera que igual que los defensores del saltacionismo (Devillers y Chaline, 1993; Eldredge y Gould Lewontin, 1982), los programas oficiales de la EB cuando llegan al tema de "las eras geológica" y "biodiversidad", encuentran que la adaptación por selección natural es insuficiente para explicar los "grandes cambios evolutivos", de manera que a partir de estos temas, tanto la selección natural como la adaptación se vuelven invisibles. Aunque puede ocurrir que ya casi al final del último curso de la EB, después de intentar convencer de la plausibilidad del modelo darwiniano, gradual y continuo para explicar la evolución, se mencione que: "La mayoría de los cambios evolutivos, la aparición de los grandes grupos de seres vivos ..., no se producen como dijo Darwin, sino como dicen Eldredge y Gould " (Tercero de secundaria)

A la vista de lo anterior, el término adaptación suele aparecer como un término sin contenido específico. Lo mismo se explica nombrando la adaptación que omitiéndola,

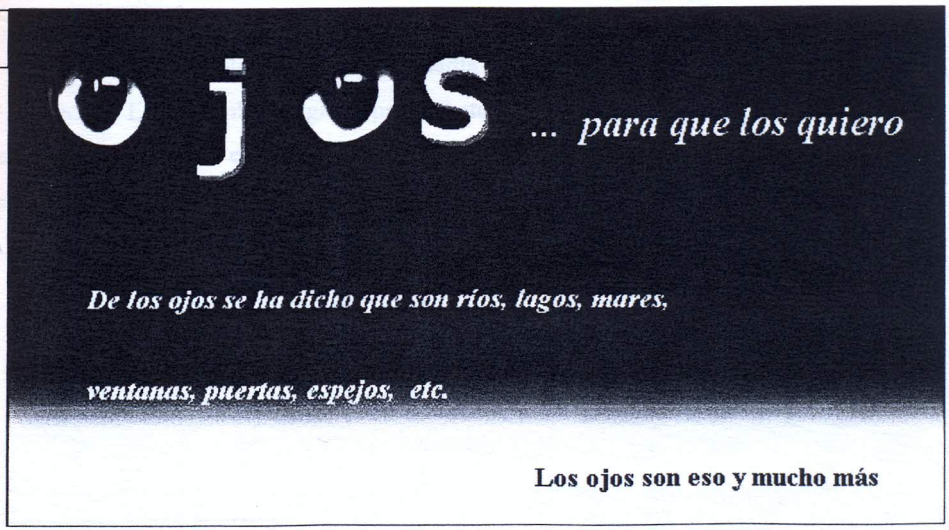
tanto en el contexto fisiológico como en el evolutivo. El resultado es la percepción de cierta arbitrariedad a la hora de establecer cuándo un rasgo es una adaptación El campo de los posibles se hace ilimitado, lo cual es incompatible con los principios científicos (seleccionistas) sobre la adaptación, y didácticamente incontrolable. Así, aunque todos los discursos muestran su contundente rechazo a la teleología interna, de carácter intencional, atribuida a la teoría de Lamarck, la falta de explicación de qué es adaptación y qué es lo que se hereda y lo que se adquiere en relación con lo que exhibe cada organismo, así como la ausencia de una genética ecológica y de un modelo de desarrollo ontogénico, resta fuerza al argumento.

PROPUESTA MUSEOGRÁFICA

TÍTULOS SUGERIDOS PARA LA EXPOSICIÓN

1

2



CÉDULA 1

Biología comparada

Excelente herramienta para entender las adaptaciones biológicas

Considerando que la biología comparada es un área rica en analogías[1], y que estas han sido reconocidas como herramientas útiles en el aprendizaje de las ciencias (Treagust et al, 1996; Thorley y Sttoflett, 1996) y en particular para la comprensión del concepto de adaptación biológica (,Sánchez-Mora, 2000), se ha elegido esta área de la biología como principal fuente de ejemplos para denotar el concepto de adaptación.

Desde el punto de vista de la biología comparada, la biodiversidad es el resultado de un proceso evolutivo que puede situarse junto con el origen dela vida misma. En sentido amplio la biología comparada estudia las causas que explican la similitud y las diferencias entre las especies, procura reconocer los patrones de relación entre las especies y entre los diferentes grupos de estas, trata de indagar acerca de la naturaleza de tales relaciones, y busca, además, descubrir cómo diferentes grupos taxonómicos entrelazaron sus historias de distribución geográfica hasta formar en la actualidad regiones o áreas de endemismo más o menos perceptibles.

Por tanto, la biología comparada guarda grandes lecciones en materia de adaptación y evolución. Los ejemplos elegidos para efectuar este enfoque "comparativo" guardan la intención de mostrar el papel que desempeñan las adaptaciones en distintos niveles ecológicos, esto es:

- al interior de una especie (variación intra específica),
- entre diversas especies (variación ínter específica) y
- en un ecosistema (relaciones coevolutivas entre plantas y polinizadores)

[1] El diccionario define analogía como "la similaridad que existe entre dos cosas". Tal similaridad es importante en la enseñanza de las ciencias pues la adquisición de conceptos y el desarrollo de habilidades de pensamiento tienen que ver con el establecimiento de similitudes entre conceptos (Lawson, 1993)

¿Por qué los ojos?

En primer lugar porque las adaptaciones más evidentes son las externas, las que podemos ver. En este caso se trata de las que nos "permiten ver". En segundo lugar, porque el análisis de los órganos fotorreceptores cuenta con uno de los marcos teóricos más sólidos y con mayor tradición.

Desde el siglo XVIII, cuando alguien quiere hablar de complejidad en biología los ojos son el típico ejemplo. Los teólogos naturales, encabezados por el reverendo Paley defendían que semejante perfección de diseño sólo podía explicarse por la labor industriosa de un diseñador inteligente. Darwin utiliza este ejemplo también, pero para ilustrar el grado de perfección que la evolución adaptativa puede lograr mediante la acumulación gradual de pequeñas mejoras. La paradoja del diseño se ha referido también en numerosas ocasiones como la del relojero ciego, pues se comparaban las adaptaciones (como el ojo) con diseños humanos (los relojes). La evolución por selección natural sería una especie de relojero ciego, capaz de crear relojes de extrema precisión sin saber siquiera qué es un reloj en primer lugar, mucho menos tener una idea preconcebida del producto final. Richard Dawkins no elige llamar "ciego" al relojero sólo para señalar la falta de *previsión* de la evolución, sino que es además un guiño al lector pues el ejemplo que utiliza es el diseño de los ojos.

Tanto para Dawkins (1987) como para otros autores (Pirlot, 1976; Nilsson y Pelger, 1994; Salvini-Plawen y Mayr, 1977; Goldsmith, 1990 Miller, 2000; Oakley y Cunningham, 2002) los ojos representan un caso flagrante de evolución convergente. Tan sólo refiriéndose al ojo de los vertebrados, diversas reconstrucciones filogenéticas estiman que han aparecido de manera independiente y desde cero, entre 40 y 60 tipos de ojos. Entre estas evoluciones independientes, se han detectado al menos nueve principios de diseño distintos, incluyendo el ojo estenopeico, el ojo lenticular, el ojo reflector curvo ("antena parabólica"), y varios tipos de ojos compuestos. Dawkins apuesta por el origen polifilético de los ojos basado en los modelos informáticos realizados por Nilsson y Pelger (1994), quienes a partir de parámetros conservadores de mutación y heredabilidad reportaron que el tiempo que teóricamente tardó en evolucionar el ojo de un pez a partir de la piel lisa fue minúsculo: menos de 400.000 generaciones . Bajo la luz de estos resultados Dawkins

confía en declarar que "no es de extrañar que "el" ojo haya evolucionado al menos 40 veces de manera independiente por todo el reino animal, dado que ha habido suficiente tiempo para que evolucione desde la nada 1.500 veces en sucesión dentro de cualquier linaje individual" Para Dawkins esto es evidencia suficiente para considerar que los diferentes tipos de ojos son estructuras análogas en el sentido que son características similares que aparecieron independientemente como consecuencia de desarrollar roles parecidos y estar sometidos a las mismas presiones selectivas (evolución convergente).

Sin embargo, la hipótesis del origen polifilético basado en la morfología ha sido un reto para los resultados de los experimentos moleculares. Gehring (2002) postula un origen monofilético (un ancestro común) para los varios tipos de ojos basado en el hecho de que es un solo gen ("master gene": Pax-6) el "iniciador" de la formación de los ojos en diversas especies, además de contrastar el hecho de que todos los ojos de los metazoarios utilizan rodopsina como una molécula fotorreceptora.

Para autores como Dawkins esto no resuelve el origen de los ojos, sino que sólo lo sitúa en otro nivel: el molecular. Es decir, si la rodopsina "es la solución" para la visión y la visión es una ventaja selectiva, entonces no es de extrañar que diversos grupos no emparentados hayan resuelto "el problema" de igual manera.

Ocurre también que un creciente número de estudios ha reportado procesos de desarrollo análogos en muchas especies diferentes que son controlados por genes "maestros" o reguladores como el gen Pax-6 (en organismos con y sin ojos)

En su análisis de máxima similitud, Oakley y Cunningham (2002) proponen que la hipótesis de origen monofilético no es favorable significantemente. Ellos utilizaron filogenias moleculares para hallar resultados que favorezcan la hipótesis del origen polifilético, sus estudios se basan en artrópodos debido a que poseen ojos compuestos. Sus análisis con DNA indicaron que los ostrácodos son los únicos crustáceos con ojos compuestos y que están relacionados filogenéticamente con varios grupos que han perdido los ojos.

Aún concediendo que todos los ojos conocidos tienen un origen común, los ojos pueden ser interpretados como una adaptación en tanto que han sido altamente conservados a lo largo de la cadena evolutiva, lo que tanto la fisiología como la biología evolutiva

coinciden en que es atributo suficiente para sospechar que determinado carácter reporta algún beneficio para su poseedor.

Organización de las instalaciones

El planteamiento de esta exposición es modular, con ello se provee al público de la posibilidad de visitarla sin un orden estricto. Si bien el hilo conductor de ese discurso museográfico es la biodiversidad y en particular los ojos como adaptaciones, se ha procurado dotar a cada módulo con un segundo argumento discursivo. Así, en el módulo sobre variación intraespecifica, se aborda subrepticiamente el papel de la diversidad cultural como medio de contraste respecto de la diversidad de atributos biológicos. En el módulo sobre diversidad inter específica se hace énfasis en la singularidad de cada especie, relacionándola con el nicho ecológico que ocupa representado como un paisaje o "vista" del mismo. Para el módulo sobre la diversidad y adaptaciones relativas a los ecosistemas se ha elegido el modelo coevolutivo entre plantas y sus polinizadores no sólo para ejemplificar que el ambiente físico no es el único factor modelador de las adaptaciones, sino también para poner énfasis en que la conservación de una especie estará siempre ligada a la conservación de las relaciones tróficas que sostiene con otras especies, y por lo tanto depende de la presencia de estas especies.

Las siguientes secciones agrupan a las instalaciones propuestas para cada módulo. Su estructura es la siguiente:

- Nivel de biodiversidad que trata y nombre sugerido para el módulo
- Objetivos
- Guión científico. Contiene la investigación bibliográfica de los conceptos planteados. Tiene por objeto avalar la información que se proporciona y ofrecer las bases para las cédulas y la información gráfica del guión museográfico
- Guión museográfico. Contiene la descripción física de los equipamientos que se proponen en relación a los temas planteados, así como modelos para cédulas informativas así como la descripción de actividades complementarias

MODULO 1

VARIACIÓN INTRA-ESPECÍFICA

"Una mirada a la mirada"

OBJETIVO PRINCIPAL:

- Ejemplificar la variación fenotípica al interior de una especie

OBJETIVOS SECUNDARIOS:

- Aludir la amplitud de las posibles combinaciones relativas a un solo órgano.
- Mostrar que la mayoría de las diferencias fenotípicas son neutras en términos de adecuación
- Denotar que la diversidad cultural no cuenta con un sustento biológico
- Enfatizar en que tanto la diversidad cultural como la variabilidad genética son atributos deseables en su calidad de probables respuestas a distintos factores selectivos (cada uno dentro de su contexto)

PRESENTACION

La diversidad genética es un componente muy importante de la biodiversidad, su trascendencia es bien conocida en el caso de las plantas cultivadas y de los animales domésticos. Pero quizá un ejemplo más cercano y tangible sea el nuestro.

La diversidad dentro de nuestra especie ya sea física o cultural, puede ejemplificarse de múltiples maneras. El interés por la fisonomía y expresiones faciales, ha ocupado tanto a científicos como a artistas. Ambos grupos coinciden en que el rostro es una rica fuente de

información, puede comunicar estados de ánimo, de salud, de actitudes interpersonales, etc. Desde la antropología puede citarse la hipótesis de que el rostro humano fue desposeído de vello por la evolución biológica, a fin de que sus congéneres pudieran leer con facilidad sus expresiones. El rostro humano es el lugar a la vez más íntimo y más exterior de un sujeto, el que traduce más directamente y de modo más complejo su interioridad psicológica y también el que padece más coerciones públicas. El rostro ha sido nombrado como la sede de la revelación y de la simulación, de la indiscreción y de la ocultación, de la espontaneidad y del engaño (Gubern, 2001)

El rostro es, en definitiva, un verdadero palimpsesto orgánico, y su movilidad hace que, más que expresiones, resulte pertinente considerar sus resultados como verdaderas «frases faciales» (Gubern, 2001). Y así como la cara puede considerarse el registro central de la disposición de ánimo y la emoción, los ojos son el centro del semblante facial, ya que aunque gran parte del significado recae sobre las cejas y los párpados, y aún más en la boca y el mentón, son los ojos los que "centralizan" esta actividad, y los que acaparan la atención de los otros, por ello, la expresión de los ojos se ha considerado un elemento importante del paralenguaje, es decir del lenguaje no verbal que utilizamos consciente o inconscientemente para apoyar o contradecir los signos verbales.

Las anteriores afirmaciones cuentan con un sustento fisiológico (neurofisiológico) y evolutivo, ya que desde un punto de vista motor, la cara ha alcanzado un notable desarrollo expresivo en los primates, sobre todo en el hombre, lo que ha sido explicado en términos evolutivos como una adaptación que le confiere a su poseedor la capacidad de comunicarse con sus semejantes[2](Darwin, 1872; Bloom, 1998; Delgado et al, 1998; Ekman,1973)

La presente instalación pretende aprovechar esta sensibilidad que posee nuestra especie para distinguir particularidades en el rostro, para presentar la variabilidad biológica inherente a una especie. Las cédulas propuestas para acompañar esta instalación están diseñadas para mostrar que no sólo nos vemos diferentes unos de los otros, sino que miramos de modo diferente.

---

[2] El antropólogo social Edward T. Hall afirmó que el 60 por ciento de nuestras comunicaciones son no verbales. Por otra parte, el profesor de la Universidad de California, Albert Mehrabian, estableció la siguiente estadística: en un diálogo cara a cara, el 7 por ciento de la información llega a través de las palabras, el 38 por ciento recae en el lenguaje paralingüístico (volumen, tono y ritmo de la voz) y el 55 por ciento se transmite mediante los ademanes y gestos faciales.

Puesto que otro de los objetivos es denotar que el fenotipo esta determinado no sólo por el genotipo, sino también por los factores ambientales y de manera muy importante por los culturales. Son propuestas varias cédulas para denotar tal influencia, tomando como referencia los trabajos de Ekman (1973)[3] respecto a la universalidad de expresiones faciales y Eckhard Hess [4] (cédulas , 3 y 4) precursor de la "pupilometría"

La instalación que se propone para ejemplificar la variación intraespecífica consta de una matriz de 20 x 30 fotografías que en conjunto representen la variedad fenotípica inherente a un rasgo de una especie..(Fig. 1)

Se propone que los ojos expuestos ejemplifiquen no sólo una variada gama de fenotipos morfológicos, sino también conductuales. Esto puede lograrse al incorporar los ojos de eminentes científicos y humanistas, niños, ancianos y todo tipo de voluntarios de distintas procedencias

La intención de esta instalación no se limita a mostrar la amplitud de la variabilidad reconocible un solo rasgo morfológico, sino también mostrar la neutralidad (en términos ecológicos) inherente a la mayor parte de los fenotipos expuestos. Es decir, tan importante es reconocer el valor de la variabilidad (ya que ésta constituye la premisa fundamental de los argumentos utilizados a favor de la conservación de la biodiversidad), como reconocer que la mayor parte de las variables (alelos[5]) no son ni mejores ni peores, a menos, que se enfrenten a un factor selectivo. La argumentación ecológicamente correcta para respaldar este hecho sería la de indicar la edad (sobrevivencia) y número de descendientes producidos por cada individuo representado. Sin embargo, dentro del entendido popular, tales atributos pueden no ser considerados como los mejores indicadores de éxito biológico.

---

[3] Paul Ekman a finales de los años sesenta, retomando los trabajos de Darwin, trató de despejar la incógnita sobre si existen gestos y expresiones que sean comunes a todas las culturas. Para ello (retomando la metodología de Darwin) se fue a convivir con los Fore, un pueblo de Papúa Nueva Guinea que había permanecido aislado del resto del mundo y que, por tanto, no había recibido influencias externas en el desarrollo de sus códigos gestuales. Durante dos años les mostró fotografías y grabó sus expresiones. Estas pruebas le permitieron establecer que las expresiones de alegría, tristeza, miedo, desprecio, sorpresa, asco e ira eran universales para todas las culturas. Este autor publicó un sistema de codificación que permitía registrar todos los movimientos de la cara. El código resultó ser tan eficaz que, en la actualidad, este "traductor" de gestos es utilizado por el FBI, la CIA, escuelas de actores e incluso por los estudios de animación PIXAR -creadores de Los Increíbles, Toy Story o Buscando a Nemo- para lograr una mejor expresividad de los personajes.

[4] Ver: Mehrabian "Nonverbal Comunication"; Knapp "El cuerpo y el entorno"

[5] Los alelos son las diferentes versiones de un mismo gen. Por ejemplo, los humanos pueden tener los alelos A, B u O que determinan sus tipos de sangre.

La manera elegida para representar la neutralidad de las variables morfológicas expuestas consiste en proporcionar la identidad laboral (ej: piloto, maestro, etc.)de cada par de ojos, con ello se pretende mostrar cómo la fisonomía no está emparentada con otros atributos del ciclo de vida, sino con su procedencia geográfica (Fig. 2). Es por éste último motivo que se propone nombrar la procedencia geográfica (lugar de nacimiento) de los abuelos paternos y maternos de cada voluntario. Con estos datos se pretende inducir la reflexión acerca de que la mayoría de las diferencias reconocibles entre grupos humanos tienen que ver con características muy superficiales (como el color y la forma de los ojos), ya que si bien no se pretende negar que en promedio es fácil distinguir entre personas de familia bantú, japonesa y sueca, eso es sólo "en promedio".

Fig. 1 **Una mirada a la mirada.** Ejemplo de panel móvil para mostrar ojos pertenecientes a diferentes personas

NOMBRE DE PILA

Lugar de nacimiento

♂ Abuelo paterno ♀ Abuela paterna,

♂ Abuelo materno ♀ Abuela materno

OCUPACIÓN

LILA DOWNS

México

♂ Minnesota ♀ Oaxaca

♂ Chicago ♀ Oaxaca

CANTANTE

Fig. 2 Formato sugerido para identificar cada fotografía individual

Los ojos no solo ven, también hablan

Una mirada puede ser dulce, cálida, profunda, fría, calculadora, conquistadora, ardiente, perdida, distante, penetrante, diabólica, soñadora; puede haber ojos de lince, de águila, de arpía, de pájaro loco. Si alguien nos clava la mirada, y nos come con los ojos, mejor será hacerse de la vista gorda a menos... que se trate del niño (a) de tus ojos.

Algunos investigadores como Paul Eckman han encontrado que nuestra especie no sólo utiliza los ojos para ver, sino también para comunicarse y que muchos de los mensajes que emiten nuestros ojos significan lo mismo para todos los humanos, ya que nuestro cerebro cuenta con un programa (Facial Affect Program) que une los movimientos de un determinado músculo facial con emociones concretas (felicidad, miedo, sorpresa, tristeza, ira/enfado y asco), lo que no quiere decir que los hechos que desatan esa emoción sean los mismos en todas las culturas.

A la izquierda se muestran seis (risa, cólera, deseo,tención, furia y rabia) de las veintiuna emociones codificadas por el artista francés Charles Le Brun en su serie *Conférences sur l'expression des passions* (1668) una morfología de la expresión facial cuya lectura no requiere palabras, ni aquí, ni en el otro lado del mundo

Un espía en la mirada

- **EL MAL DEL OJO**. Existen estudios que demuestran que una persona que es observada de forma fija e insistente presenta un ritmo cardíaco más rápido que otra que no lo sea, quizá sea éste uno de los inconvenientes de hablar en público e incluso puede adoptarse para explicar la leyenda sobre el "mal de ojo" que se da en casi todas las culturas.

- **NO ME MIRES CON ESOS OJOS**. El lugar en el que está fija la mirada nos da a conocer cuál es el punto de atención de una persona pero poco nos dice de sus intenciones, quizá esta sea la razón del porqué todas las culturas desaprueban el mirar fijamente

- **LOS OJOS DE MAMÁ.** Se ha demostrado que la primera imagen ante la cual los recién nacidos reaccionan es precisamente la de un par de ojos o cualquier configuración similar

- **...CASI SE LE SALEN LOS OJOS.** El odio, el asombro, y un sin fin de emociones no sólo se manifiestan por los gestos que dibujan nuestras cejas y párpados. La técnica de la pupilometría muestra que las variaciones del tamaño de la pupila son involuntarias y NO responden únicamente a la incidencia de la luz, sino que se ve afectada por sentimientos y sensaciones interiores. Así, el tamaño de la apertura de las pupilas puede considerarse como un indicador del agrado o desagrado de lo que una persona ve o percibe por el gusto el tacto y el oído. Eckhard Hess ha comprobado que la pupila de abre más cuando alguien ve algo que le atrae, detecta un sabor agradable o escucha música de su agrado.

- **NO ES LO MISMO HACER OJITOS AQUÍ... QUE EN CHINA** Lo que en el primer país es un acto de coqueteo, en el segundo se considera un rasgo de imbecilidad.

Sin palabras

Los músculos faciales carecen de husos musculares, que son unos receptores sensoriales localizados dentro de los músculos y que indican el grado de estiramiento de éstos. Sin esa información, las motoneuronas faciales no pueden saber cuánto de distendido o contraído está un músculo. Es decir, no podemos saber con exactitud la posición del párpado en cada momento.

Esa imposibilidad de saber con precisión la localización de cada músculo facial hace que la expresión instantánea de nuestra cara nos sea casi desconocida. Sin embargo, no lo es para quien nos mira, y no lo sería, por supuesto, para nosotros mismos cuando nos vemos en un espejo. Solo individuos muy expertos o entrenados (actores) tras un duro entrenamiento pueden lograr un control casi completo sobre sus expresiones.

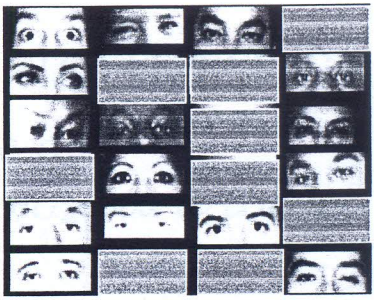
(A modo de ejemplo)

El Kathakali es una modalidad de "teatro danzado" de la India.
En este arte la expresividad de los ojos y del rostro es fundamental, de manera que el entrenamiento de estos artistas comienza en la niñez. "El primer día, a partir de la noche en que la luna nueva hace su aparición, el alumno se sienta para ejercitar sus ojos previamente untados con mantequilla. El estudiante gira sus ojos siguiendo el contorno luminoso de la luna mirando hasta la desaparición del astro. El primer día este ejercicio dura aproximadamente una hora, el tiempo que emplea la luna en pasar por el cielo. El segundo día el alumno se sienta a la misma hora y se dedica al mismo género de ejercicio que, esta vez, durará dos veces más, porque éste es el lapso de tiempo que pasa entre la aparición y la desaparición del astro nocturno y así sucesivamente hasta que el quinceavo día de luna llena, en el cual el alumno se sienta desde las seis de la tarde hasta las seis de la mañana Este sistema es llamado Nilavirikkuka, o sea literalmente: «estar sentados al claro de la luna.....además... antes de comenzar los largos espectáculos (duran toda la noche), se introducen, un grano de pimienta bajo los párpados. La irritación que produce en los ojos tal acción ayuda a convertir los maquillados rostros de héroes y demonios en algo sobrenatural."

" Donde van las manos van los ojos
Donde van los ojos aflora una imagen
Con una imagen una emoción"
Natya Sastra

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- **Adivina Quien.**



Se puede invitar al visitante a perseguir al "sospechoso" elegido por otro de los visitantes discriminado entre los posibles sospechosos a través de preguntas acerca de los caracteres fenotípicos y culturales (nombre y ocupación) observados en el panel.

Se prevé que un primer factor de discriminación elegido será el morfológico, hasta que las singularidades no puedan seguirse por este camino, y se recurra al conductual. Lo anterior puede servir para ejemplificar como las diferencias al interior de una especie son realmente muy superficiales.

- **Mira nomás que ojos**

Juego para diseñar diversas expresiones gestuales mediante la asociación libre de diversos tipos de cejas y ojos (Fig 3)

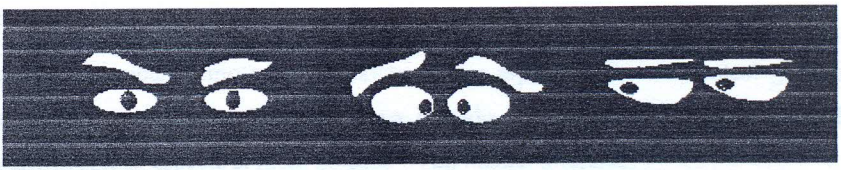


Fig. 3 Juego para producir diversos gestos faciales

MODULO 2

VARIACIÓN INTER-ESPECÍFICA

"Todo tipo de ojos y ojos para todo"

OBJETIVOS PRINCIPALES:

- Mostrar que una de las maneras de reconocer una adaptación es cuando estrategias similares (en este caso la visón) se presentan en grupos lejanamente emparentados
- Relacionar las adaptaciones morfo-fisiológicas con el ambiente en el que habitan las especies

OBJETIVOS SECUNDARIOS:

- Denotar la riqueza de especies animales aludiendo a la complejidad morfológica alcanzada por todas ellas
- Ocasionar sentimientos afectivos y de respeto a favor de los grupos poco "populares" o " carismáticos" como los artrópodos y los celenterados
- Sembrar preguntas como ¿por qué existen tantas especies, y tan diferentes? ¿Cómo es posible que tal o cual especie haya logrado desarrollar tal adaptación? ¿qué ocurriría con tal especie si fuera ubicada en un hábitat diferente?

PRESENTACION

Aunque hay en los ojos una gran variedad de formas, tamaños, diseño óptico y localización en el cuerpo, todos proporcionan información acerca de la longitud de onda e intensidad de la luz. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que un ojo es algo más que una

cámara que proporciona una imagen de un paisaje. Si bien una de las propiedades fundamentales de la visión reside en su capacidad para percibir la dirección de una imagen en movimiento, los receptores de luz que se encuentran en cualquier tipo de ojo cumplen con otras funciones, como efectuar una transducción de señales y desencadenar cascadas de señalización para realizar funciones fisiológicas voluntarias y no voluntarias como las relacionadas con el fotoperiodo involucrado a su vez en la regulación de los ritmos circadianos (bajo este esquema se le ha considerado a la glándula pineal como un tercer ojo dadas sus propiedades foto excitables)

Las variantes que se observan en la estructura del ojo están relacionadas con el tipo de vida del animal, principalmente con el medio (agua o aire) y la manera en que cada especie asegura su subsistencia (caza, recolección, actividad diurna y nocturna). Así se puede observar una correlación positiva entre el grado de desarrollo de esta estructura y características propias de su ciclo de vida. Así, en esta instalación se propone mostrar la gama de posibilidades para la visión mediante ejemplos "extremos" (polares) Así, contrastan los ojos para ver de lejos pertenecientes a un águila y los de un arácnido cuyos ojos sólo le permiten ver unos centímetros más allá. Lo mismo sucede con los ojos más grandes de todo el reino pertenecientes al calamar gigante frente a los de un microartrópodo parásito de una avispa. Encontramos ojos para ver de día, de noche, en el ambiente aéreo, en el acuático y en ambos (*Anapebls* sp.)

La manera de referir la adaptación (variación) dentro de la adaptación (los ojos) es de dos maneras: mediante una frase alusiva o juego de palabras (calamar gigante:¡qué ojos tan grandes tienes!; micro artrópodo: a ver.. unos ojitos; arácnido: Muchos puntos de vista, etc.) con el fin de enfatizar su singularidad; y puesto que las variantes que se observan en la estructura del ojo están relacionadas con el tipo de vida del animal, se sugiere mostrar tal relación proporcionando en el anverso de cada ilustración del panel móvil una "vista" del nicho ecológico ocupado por el organismo, o bien, cómo ve el organismo

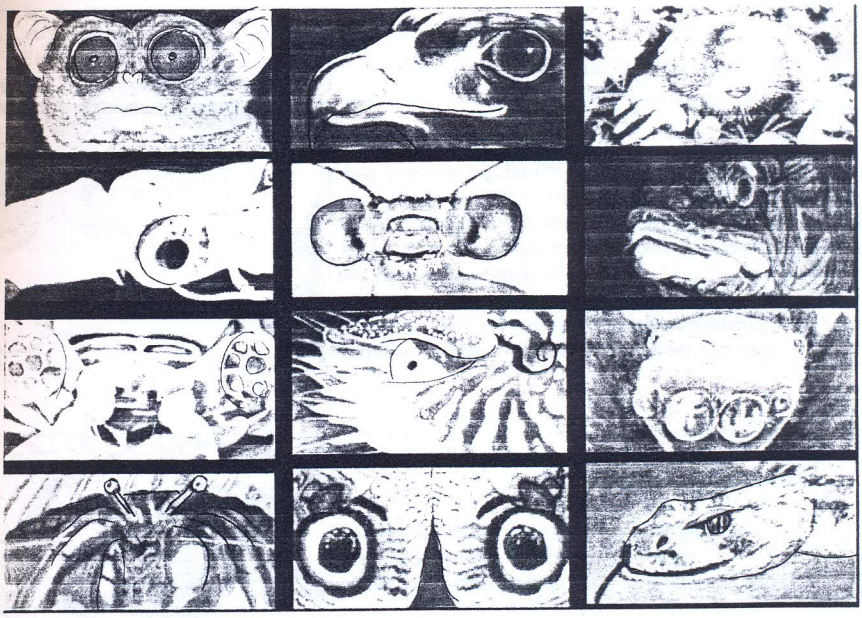


Fig. 4. Panel móvil

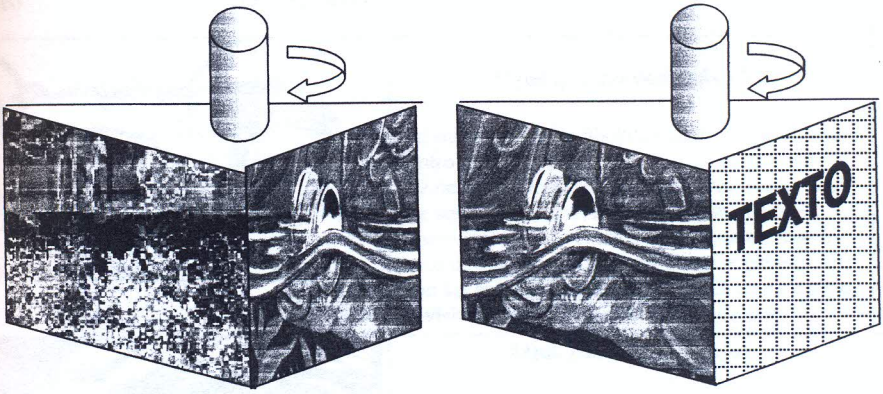
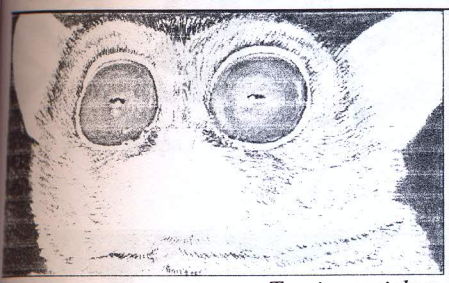
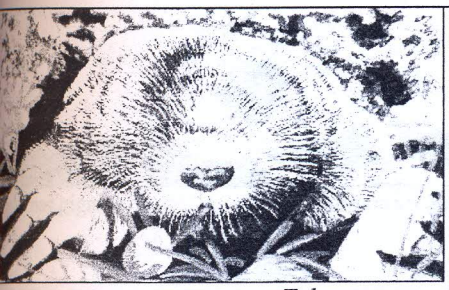
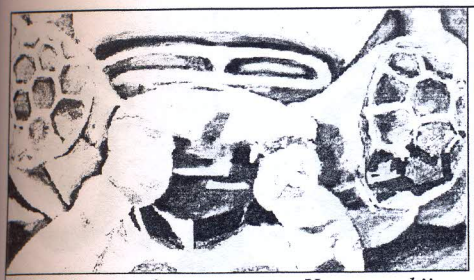
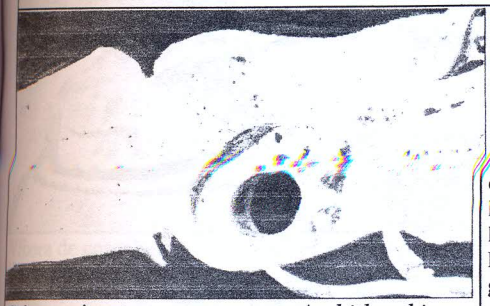
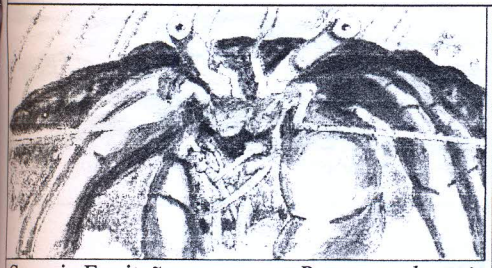
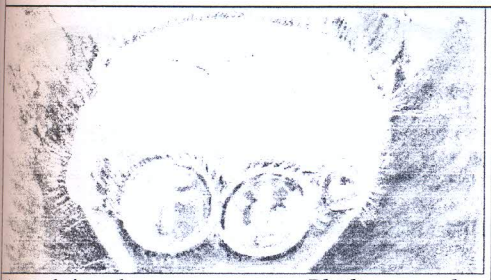
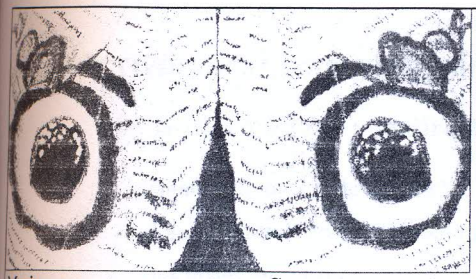


Fig. 5. A la derecha se muestra un ejemplo de la información que podrá acompañar a cada imagen (paisaje observado por el organismo + información biológica relativa a las particularidades de cada adaptación)

TABLA 1. Información relativa a cada ejemplo

ANIMAL (ilustración) Nombre común / Nombre científico	FRASE Cédula	CÓMO VE (descripción de la ilustración)
 Tarsero *Tarsius syrichta*	**Mucho OJO** Las enormes pupilas del tarsero le permiten capturar los más mínimos rayos de luz durante la noche, y como casi todos los animales nocturnos los ojos del tarsero han especializado para notar cambios en la intensidad de luz, de manera que aunque ven más claro, casi no ven los colores. El tarsero cuida tanto sus ojos que los mantienen cerrados mientras mastica o se enfrenta con otro animal.	Selva asiática vista en una gama de grises
 po europeo *Talpa europea*	**Ojos que no ven.....** **... topo que no le importa** La mayoría de los topos tiene ojos auque ven muy mal. Pudo ocurrir que cuando los topos comenzaron a pasar gran parte de su tiempo en el suelo, especies mutantes con ojos reducidos no experimentaron desventaja alguna, heredando tal característica	En negro
élula/caballito del diablo azul *Enallagma cyathigerum*	**Ojos que no ven más allá** Los mosquitos y las libélulas tienen la mejor visión dentro de los insectos, aún así sólo pueden ver lo que ocurre un metro de distancia. Podríamos decir que son "cortos de vista". Es por eso que han desarrollado otros sentidos para escuchar (con los pelos de su cuerpo), saborear (con las patas) y oler (con las antenas) lo que está más allá de su campo de visión.	Imagen facetada (composición de "mosaico") de un campo de flores, en donde la perspectiva indica que los elementos de la composición son "enormes"
la Real *Aquila chrysaetus*	**Ojos para verte mejor** Los ojos de las aves rapaces como las águilas y los búhos, pesan más que su cerebro. Tienen visión telescópica, alta resolución en la imagen retiniana, visión binocular para percibir relieves y distancias, cornea con lupa (zoom 8 x),fuertes músculos que permiten un enfoque preciso, un ajuste veloz y gran adecuación a diferentes intensidades luminosas, visión nocturna y un 3er párpado	Vista aérea con un zoom central que enfoca a un ratón

 Parásito de una avispa *Xenos peckii*	**A ver... unos Ojitos** Los xenos son unos insectos muy pequeños que viven en el interior de algunas avispas . Sólo los machos tiene ojos, y dependen de ellos para en encontrar una avispa en la cual viva una xenos hembra en las breves horas que tiene de vida(3-5 hrs) Algo curioso de los ojos de los xenos es que a diferencia de la mayoría de los insectos, sus ojos son simples y no compuestos. Esto quiere decir que cada ojo capta una imagen completa, y no sólo una parte de la imagen.	Conjunto de "esferas" (imágenes repetidas) que reflejan la imagen "de cabeza"
 Calamar gigante *Architheuthis sp.*	**¡Qué ojos tan grandes tienes!** Es bastante común que los animales que viven en las profundidades del mar, como el calamar gigante, tengan ojos grandes para captar la poca luz que llega desde la superficie, pero también para ver los organismos que crean su propia luz, así como los posibles peligros Los ojos de los calamares gigantes son los ojos más grandes que han visto nuestros ojos (del tamaño de un balón).Estos ojos pueden llegar a ser tan grandes debido a que el cuerpo de los calamares, al igual que el de los pulpos, crece "todo parejo" a lo largo de su vida.	Paisaje submarino (1000 b.n.m.) con animales como: cachalote, pez linterna, etc.
 Cangrejo Ermitaño *Pagurus edwarsi*	**Con un ojo al gato y otro al garabato** Los cangrejos y otros invertebrados, tienen los ojos sobre unos pedículos y pueden moverlos independiente, lo que resulta una ventaja para animales que no tiene cuello, es decir que no pueden girar su cabeza. Ideales para los exámenes	Campo dividido verticalmente, en donde uno de los lado tiene vista al mar, y el otro a la playa
 Araña brincadora *Phidippus audax*	**Muchos puntos de vista** La araña brincadora utiliza sus 8 ojos para detectar el movimiento de sus posibles presas y predadores a una distancia relativamente corta (1.5m) pero suficiente para medir sus saltos (hasta 20 veces la longitud de su cuerpo). Durante el salto, adapta su visión gracias a pequeños músculos que mueven la retina en lugar del cristalino.	Vista de 360 ° con 8 divisiones (cada división correspondería al campo captado por cada uno de los 8 ojos)

 Mariposa nocturna *Saturnia pavonia*	**Ve bien y acertarás** Muchas especies exhiben ojos falsos que resultan útiles para: esconder partes vulnerables del cuerpo, confundir al depredador respecto a donde se mueven, parecer más grandes y temibles o más atractivos y lozanos como el pavo real. Así, muchas especies de mariposas poseen en sus alas unos ocelos pronunciados a modo de grandes ojos.	Ejemplos de animales que exhiben ojos falsos: pavo real, orugas, pez mariposa, etc.
 Víbora de cascabel *Crotalus molosuss*	**Ojos que te ven, y te sssienten** Algunas serpientes detectan a sus presas con un órgano situado entre el ojo y el oído a ambos lados de la cabeza que detecta la radiación infrarroja. El cerebro de la serpiente localiza la presa comparando diferencias de temperatura. De manera que al ver el calor de su presa puede atacarla, incluso en la oscuridad.	Termografía de un ratón, una rana, una tortuga (comparación de intensidades de calor)
 Cuatro ojos *Anableps dowei*	**¿Cuatro ojos?** El Anableps, tiene el cristalino dividido en dos partes de manera que puede ver al mismo tiempo lo que sucede en la superficie, como por debajo de ella. Muy útil si vives en el agua pero te alimentas de animales de la superficie	Campo visual divido horizontalmente, de manera que en el campo superior se aprecia la superficie de un estante, y en el inferior un paisaje acuático
 Paco *Homo sapiens*	**¡Hasta la vista!** Los ojos de los humanos no pueden ver muy bien de noche, ni desde las alturas, ni bajo el agua, ni ver hacia atrás, ni tampoco la luz ultravioleta o el calor, o mejor dicho sí, si pueden. Lo interesante de los ojos humanos no son sólo los ojos, sino lo que está detrás y delante de ellos. El humano es el único animal que puede idear formas para ver lo que otros animales ven. Y aún más, puede crear instrumentos como los telescopios y los satélites para ver lo que está más allá de nuestro planeta o al planeta mismo.	Microscopio + paisaje microscópico Telescopio + galaxia Satélite + vista del globo terráqueo Apto. Rayos X + radiografía

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- **Dime cómo ves y te diré dónde vives**

Imanes de ojos y de "vistas". Se invita a relacionar los ojos con las posibles vistas. Las relaciones correctas podrán ser cotejadas en el panel de ojos girando los ojos o las vistas en cuestión.

MODULOS COMPLEMENTARIOS

- **Ojos de hormiga**

Para emular la visión de los insectos, podría elaborarse una suerte de panal de lentes biconvexos hexagonales, cuya graduación simule la visión miope (sólo 50 cm de alcance) y múltiple que se obtendría con esta visión.

- **Mirada de águila**

Para contrastar la situación anterior, se propone construir un equipamiento que proporcione a quien lo utilice la agudeza visual característica de un ave rapaz. Dicho equipamiento tendría que proporcionar una visión panorámica en la periferia, en tanto que la parte central, la correspondiente al engrosamiento que posee el cristalino de estas aves, debería proporcionar un "zoom" (10x) que permita ver las figuras de por ejemplo una lagartija, un ratón o un canario (dibujados) a varios cientos de metros. De esta manera se podría jugar a encontrar "animales ocultos" en diversas áreas de la sala

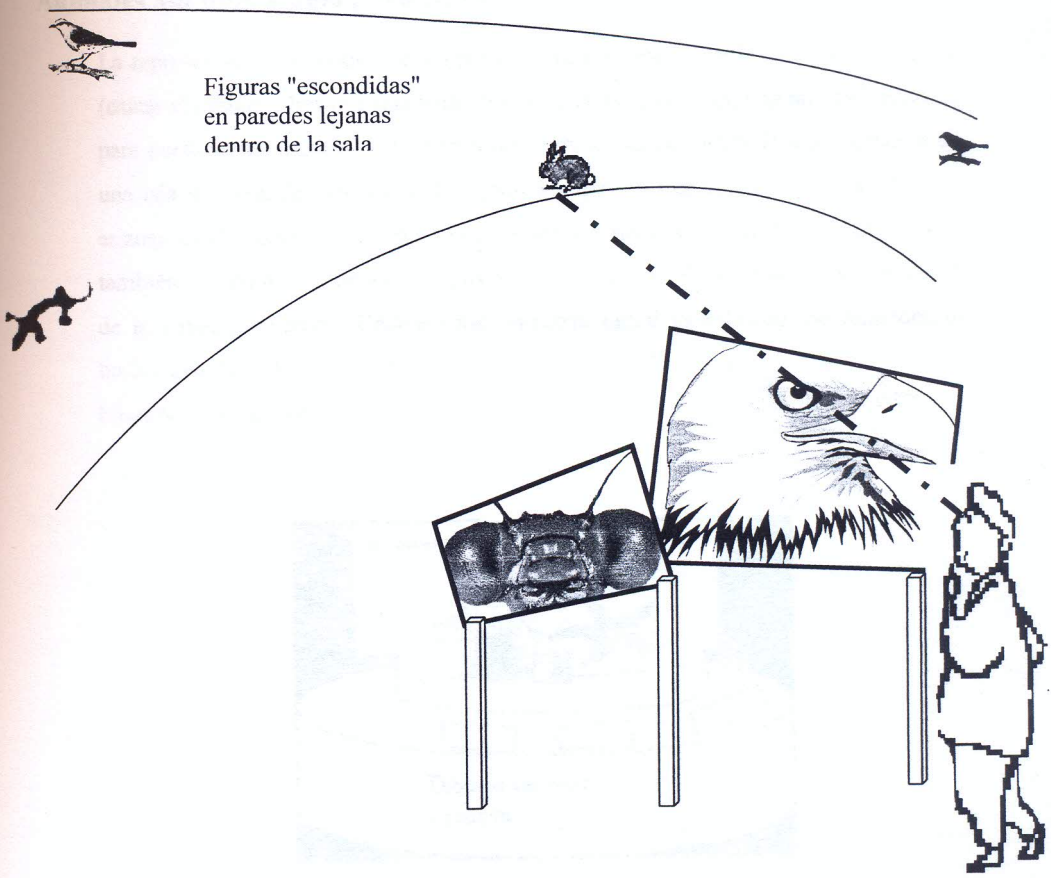


Fig. 6. Equipamientos cuyas soluciones técnicas (ópticas) hacen posible "ver" como lo haría un águila y un insecto

Animales sin ojos y ojos para llevar

La representación a relieve de las mismas ilustraciones guarda intenciones lúdicas (calcar el dibujo = llevarse una parte del museo), pero también una utilidad sensorial para personas invidentes. Para este último grupo, se considera la incorporación de una isla que guarde algunos de los animales que no tienen ojos (estrellas de mar, erizos), ciertamente esto puede servir de soporte para las personas invidentes, pero también representa un hecho evolutivo: los ojos están vinculados con la evolución de la simetría bilateral. Cédula sobre simetría radial vs bilateral. Se relaciona el hecho que sólo los organismos de simetría bilateral tienen ojos y que todos los bilaterios tienen ojos.

Fig. 7 Isla con un borde a modo de mesa con relieves de los distintos tipos de ojos expuestos para poder calcar, con un centro repleto de animales sin ojos

MODULO 3

COEVOLUCION

VARIACIÓN RELATIVA A LOS ECOSISTEMAS

OBJETIVOS PRINCIPALES:

- Mostrar las relaciones adaptativas entre diferentes especies

OBJETIVOS SECUNDARIOS:

- Aludir la amplitud de las posibles combinaciones relativas a un solo órgano.
- Mostrar que la mayoría de las diferencias fenotípicas son neutras en términos de adecuación
- Denotar que la diversidad cultural no cuenta con un sustento biológico
- Enfatizar en que tanto la diversidad cultural como la variabilidad genética son atributos deseables en su calidad de probables respuestas a distintos factores selectivos

PRESENTACION

La importancia de los síndromes de polinización para
la conservación de la biodiversidad
El Valle de Tehuacán-Cuicatlán

Las cualidades de la visión pueden observarse no sólo en la estructura del ojo, sino en el mundo de señales que los organismos son capaces de captar y emitir. Enfocar esta relación

obliga a entrar en el campo de la ecología evolutiva y particularmente los fenómenos coevolutivos, que para muchos biólogos constituyen los casos más notables de adaptación.

El término coevolución fue acuñado por Ehrlich y Raven (1964) en su trabajo sobre las influencias evolutivas recíprocas entre las plantas y los insectos que se alimentan de ellas. El uso que hicieron del término permitió luego diversas interpretaciones y se ha usado de forma diferente por numerosos autores (Ehrlich y Raven no definieron explícitamente el término en su trabajo pionero). Janzen (1980) definió muy restrictivamente el proceso de coevolución: "Hay coevolución cuando un carácter de una especie ha evolucionado como respuesta a un carácter de otra especie; éste en sí mismo evolucionó como respuesta al carácter de la primera.". Odum (1995) amplía un poco esta definición, planteando que el proceso de coevolución puede ser definido como la selección natural recíproca entre dos o más grupos de organismos, con estrechas relaciones ecológicas pero sin intercambio de información genética entre ellos.

El hecho que la acuñación del término coevolución estuviera ligada al estudio de las relaciones entre plantas y animales (particularmente insectos), y al de la selección natural, no es el todo casual. La ecología de la polinización ha sido profusamente utilizada para apoyar el papel que desempeña la selección natural como motor evolutivo desde los primeros momentos de su formulación (Gómez, 2002), como revelan los trabajos pioneros de Darwin (1862, 1877, 1878) y muchos de sus coetáneos (Kerner 1878, Müller 1883, Kerner & Oliver 1895, Knuth 1898-1905, Clements & Long 1923). Darwin visualizó que la especialización hacia algún polinizador radicaba en la eficiencia de los mismos lo cual a su vez podría redundar en la evolución de caracteres morfológicos y/o fisiológicos florales. Así, la especialización está implícita en el concepto de "síndromes de polinización" los cuales son considerados como un conjunto de rasgos florales que reflejan adaptaciones hacia algún tipo de polinizador (Waser et al. 1996).

Este tipo de estudios sobre polinización han ido acumulando una tremenda cantidad de ejemplos de complejas adaptaciones y relaciones evolutivas entre animales y plantas (Faegri & van der Pijl 1979, Barth 1989, Thompson 1994, Proctor et al. 1996).

Uno de los grupos de angiospermas que han sido definidos como altamente especializados en sus sistemas de polinización son las Cactaceae, cuyas flores están

fuertemente asociadas con animales (Porsch 1939, Grant & Grant 1979, Valiente-Banuet et al. 1996). Así, las relaciones planta-polinizador han sido citadas como especializadas para diferentes especies del género *Opuntia* y su relación con abejas (Grant & Hurd 1979); para la interacción entre colibríes y especies de géneros como *Rathbunia, Peniocereus, Nopalea y Pachycereus* (Gibson & Nobel 1986); esfíngidos y especies de los géneros *Epiphyllum, Cereus, Trichocereus, Acanthocereus y Selenicereus* (Grant & Grant 1979) y entre murciélagos nectarívoros y cactáceas columnares de los géneros *Pachycereus y Stenocereus* pertenecientes a la tribu *Pachycereeae* (Valiente-Banuet et al. 1996).

LA INSTALACIÓN

El desarrollo de esta instalación parte de presentar en un diorama la capacidad de algunas plantas (Cactaceae) para desarrollar sistemas de atracción de animales polinizadores, tales como forma, color y guías de néctar, de los cuales se sabe que incrementan la precisión de la visita y la polinización a través de su coevolución con la anatomía del polinizador, preferencias y comportamiento.

Lo que esta instalación propone en concreto, es representar algunos de los síndromes más conspicuos (por aves/ornitofilia, por murciélagos/quiropterofilia, por insectos/entomofila como mariposas/psicofilia, abejas/mielitofilia y escarabajos/ cantarofila) tomando como ejemplo las diversas adaptaciones coevolutivas desarrolladas por las Cactaceae presentes en la Reserva de la Biosfera del Valle de Tehuacan Cuicatlán en Puebla y Oaxaca. Las razones para tomar ejemplos de este ecosistema son las siguientes:

1. El Valle de Tehuacán-Cuicatlán es una de las regiones áridas y semiáridas con mayor diversidad biológica en México y en el mundo (Dávila et al. ,1993, 2001; Valiente-Banuet, 2002), donde cerca de 30% de las plantas son endémicas según las estimaciones hechas por Smith (1965).
2. Pese a su reducida extensión (10 000 km^2), sus cualidades biogeográficas permiten ubicar en este ecosistema los principales síndromes de polinización.
3. Las Cactaceae a las que se hace referencia tienen un papel ecológico importante dentro de este ecosistema al ser uno de los elementos vegetales dominantes.

4. Con los ejemplos adoptados, particularmente el de las cactáceas columnares y los murciélagos, se pretende representar la vulnerabilidad de tales sistemas de polinización.
5. La conservación de este ecosistema es importante a nivel mundial (5ª región prioritaria de conservación en el mundo), nacional (pues concentra el 10 % de la diversidad biológica del país), regional y cultural (co-existen ahí siete grupos étnicos indígenas que constituyen cerca de 30% de los 650 000 habitantes de la región; Casas et al., 2001)[1]
6. Se cuentan con numerosas investigaciones que respaldan la estrecha relación ecológica entre las plantas y los animales mencionados
7. Estas investigaciones han sido realizadas en su mayoría por instituciones mexicanas.
8. A la par de las investigaciones realizadas se ha conformado un amplio acervo fotográfico con el que es posible desarrollar el respaldo visual requerido para la realización del diorama.

LA ESTRUCTURA DE LA INSTALACIÓN

La propuesta consiste en realizar un diorama mediante una técnica de fotomontaje para representar en un solo paisaje la variedad de inflorescencias pertenecientes a las cactáceas del Valle de Tehuacan Cuicatlán (Fig. 9). Tal paisaje estará asociado a un tablero "inter activo" desde el cual el visitante pueda seleccionar la visión propia de cada organismo (murciélago, abeja, etc.) representado en dicho tablero . De esta manera, al oprimir el botón que acciona la visión de una abeja, se accionaría una iluminación especial (con luz negra o uv) (Fig. 8), la cual emularía la perspectiva visual que las abejas tienen del *menú floral* ofrecido por las diversas plantas, poniendo en evidencia las señales ocultas que guardan algunas de estas flores, pudiéndose apreciar las guías florales y como las flores amarillas,

[1] De acuerdo con el registro arqueológico (MacNeish, 1967, 1992), la presencia humana en la zona tiene una antigüedad de alrededor de 10 000 años, y a lo largo de tan importante historia cultural se han acumulado vastos conocimientos tradicionales sobre el entorno natural, así como estrategias de utilización y manejo de sus recursos. Los estudios etnobiológicos sugieren que esta región es también una de las áreas con mayor riqueza de conocimientos y tecnologías indígenas para el manejo de los recursos bióticos de México (Casas et al., 2001).

bajo esta luz, se distinguen como resultando más conspicuas (para las abejas) que otras de colores aparentemente más llamativos como las coloraciones rojas El mismo paisaje, visto ahora con los ojos de un murciélago (Fig. 10), se vería bastante diferente al visto por una abeja, de hecho sería idéntico al que nosotros vemos, el énfasis estaría puesto en el hecho que al oscurecer el panorama (al anochecer) resaltarían las inflorescencias grandes y voluminosas de las cactáceas columnares.

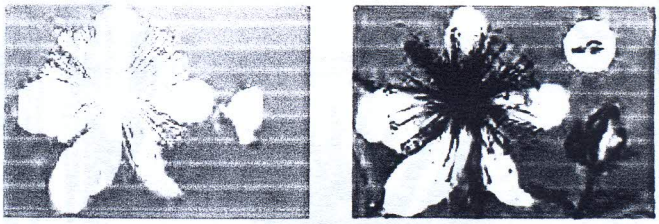


Fig. 8 La misma flor es observada bajo la mirada "uv" de una abeja

Se sugiere que en el diorama se distingan planos de imágenes (de plantas), de manera que cada plano sirva no sólo para proveer la noción se profundidad, sino también para mostrar la distribución escalar del conjunto de plantas asociadas a cada síndrome de polinización. Tal distribución será útil para acomodar en un primer plano las flores relativamente más pequeñas de las especies polinizadas por insectos.

En la figura 6 se muestra la distribución de estos planos. En la Tabla 2 se muestra una selección de ejemplos para cada síndrome floral a representar, estos han sido tomados de los trabajos de Valiente-Banuet (2002) y Dávila et al (1993)

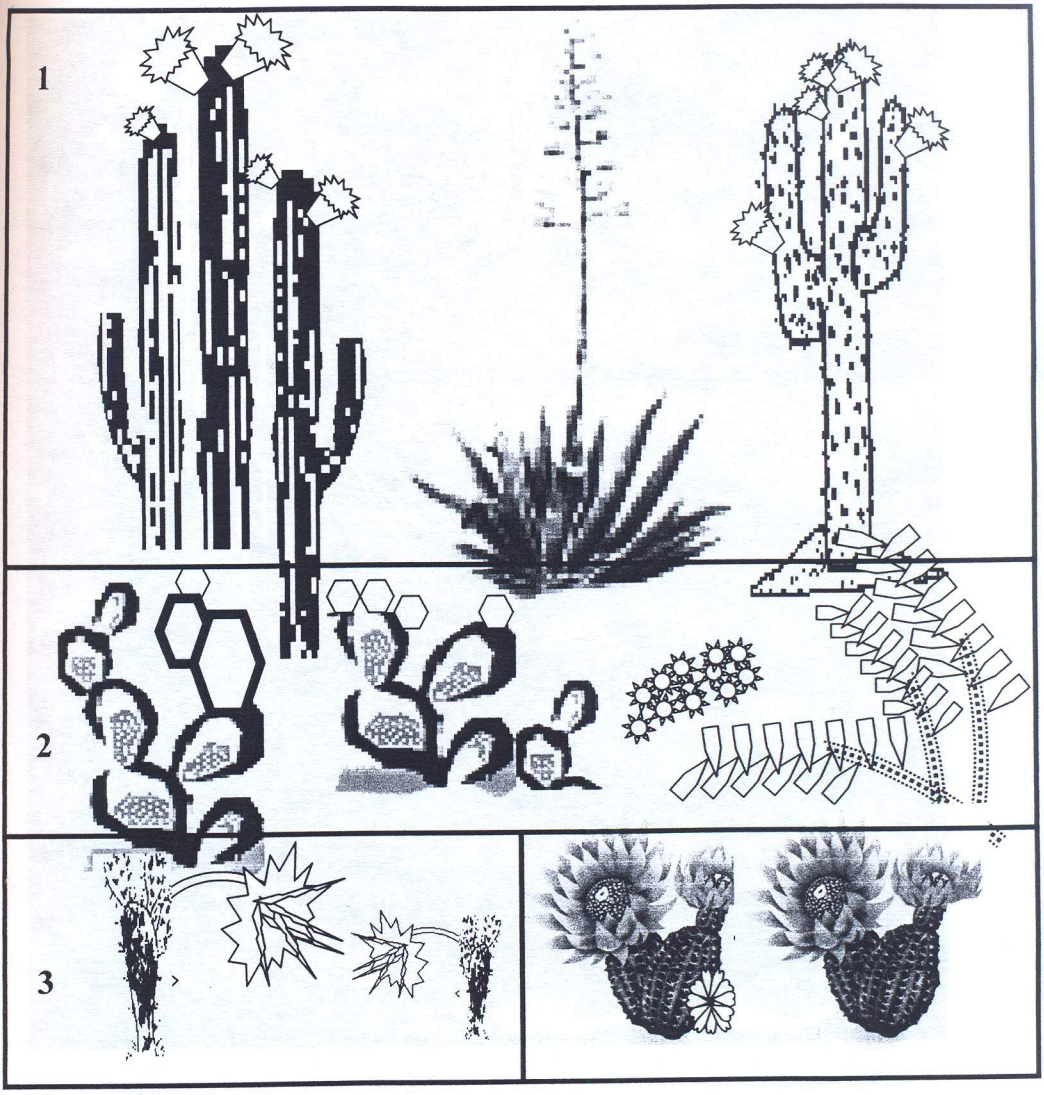


Fig. 9 Distribución de del paisaje vegetal montado en el diorama. 1 En el plano más profundo se ubican las cactáceas columnares polinizadas por murciélagos. 2. Nopales, zorzales y ocotilos asociadas al síndrome de ornitofilia. 3. Primer plano mostrando un acercamiento de las especies polinizadas por insectos

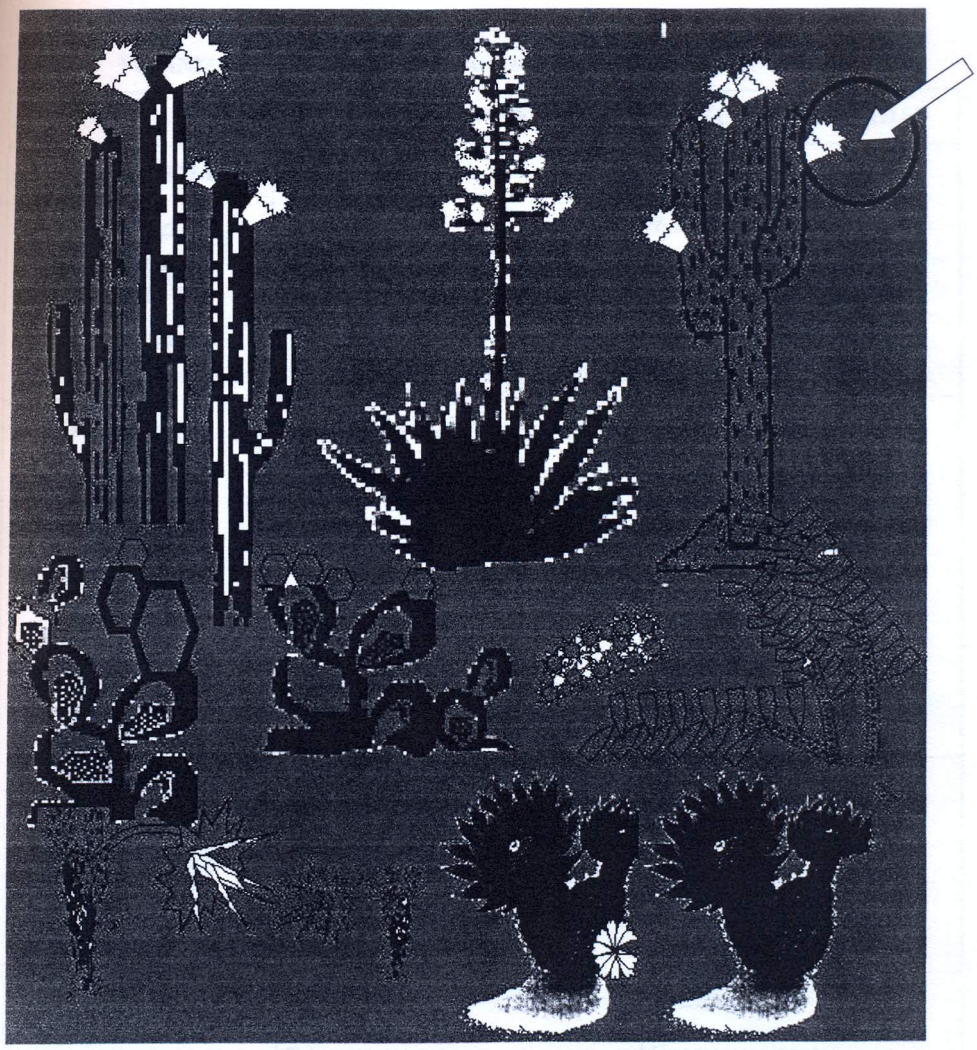


Fig. 10 Ejemplo de cómo al interaccionar con este módulo se provee una iluminación que emula el panorama nocturno del Valle de Tehuacan Cuicatlán, con tal efecto se pretende situar al visitante en el escenario que le es común a los murciélagos cuando acuden a visitar a las flores de los tetechos. Se hace evidente que "de noche", las flores más conspicuas son las frondosas flores blancas ubicadas en lo alto de las cactáceas columnares.

TABLA 2 GUIA DE ESPECIES REPRESENTATIVAS PARA CADA SÍNDROME DE POLINIZACIÓN. Tomado de Valiente-Banuet (2002)

SÍNDROME	POLINIZADORES EFECTIVOS	PLANTAS POLINIZADAS
QUIROPTEROFILIA	*Leptonycteris curasoae yerbabueneae* *Leptonycteris nivalis* *Choeronycteris mexicana*	*Neobuxamia tetetzo,* *N. Mexcalaensis,* *N. Macrocephala,* *Pachycereus pringlei,* *Agave sp.*
ORNITOFILIA	*Amazilia violiceps* , *Calypte costae* *Zenaida macroura* *Z. asiatica* *Melanerpes uropygialis,* *Toxostoma curvirostre* *Auriparus flaviceps* *Psaltriparus minimus* *Carpodacus mexicanus*	*Rathbutania sp.* *Nopalea sp.* *Ocotilo sp.* *Zorzal sp.*
PSICOFILIA	*Hyles lineata* *Eumorpha anchemola*	*Epiphyllum sp.* *Trichocereus sp.* *Acanthocereus sp.* *Selenicereus sp.*
MIELITOFILIA	*Apis miellifera* *Trigona sp.* *Bombus sp.*	*Opuntia sp.* *Carnegiea gigantea* *Mamillaria sp*
CANTAROFILA	*Carpophylus sp*	Fam *Asteraceae*

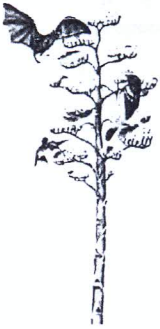
SI ME AYUDAS TE AYUDO / DANDO, DANDO

Así como cuando vamos a una tienda a buscar algo, y de todas las cosas que ahí venden decimos que sólo tenemos ojos para ese algo que estamos buscando, muchos animales que se alimentan de las flores, sólo tienen ojos para el tipo de flores que les ofrecen el tipo de alimento que están buscando. Pero hay quien dice que el alimento que ofrecen las flores no es gratis y no es para cualquiera. Las flores no sólo entregan alimento, sino también su polen (y a veces sus semillas) que es llevado por estos animales a otras flores.

Las flores polinizadas por abejas y avispas han evolucionado con éstas, son de colores claros (no rojo), presentan guías de néctar, a menudo reflejan la luz ultravioleta, solo visible a las abejas. las flores son amplias, brindando "pistas de aterrizaje" A veces esta coevolución ha llegado al punto en que la flor imita a la hembra de la abeja.

Las flores que han coevolucionado con mariposas tienen forma de tubo, y generalmente guardan su néctar en el fondo, donde solo la larga espirotrompa (boca en forma de popote enrollado) puede llegar. Como la habilidad visual de las mariposas no es muy buena, las flores aseguran la visita de las mariposas diurnas con colores intensos como el morado. En cambio, las flores que son visitadas por mariposas nocturnas tienen colores claros como el blanco que es el color que mejor se ve de noche. Además, estas flores desprenden olores intensos, aunque agradables para nuestro olfato, a diferencia de las flores con olores nauseabundos que atraen a las moscas.

Las flores polinizadas por aves no tienen aroma, ya que los pájaros no tienen sentido del olfato, pero si colores intensos, rojos y amarillos y abundante néctar. Si la forma de la flor es tubular, lo más probable es que el pico del ave que la visita tenga la misma forma, como la del colibrí.



Las flores de las plantas que son polinizadas por pequeños murciélagos son grandes, tienen tonos pálidos, fuertes aromas y abundante néctar. Además suelen estar en las partes más altas de las

UNA ALTERNATIVA

Otra manera posible de representar la relación entre las plantas y sus polinizadores podría consistir en "armar" el paisaje con láminas de acrílico acomodadas en un una serie de rieles de manera que el paisaje original pueda ser descomponerse en distintos planos. Cada plano (u hoja) estaría asociado a un grupo vegetal asociado a un grupo de polinizadores. De esta manera se rescataría la idea de mostrar la relación entre la fenología floral de un grupo de plantas y la de sus polinizadores.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

CADA UNO CON SU CADA CUAL

Siguiendo la idea de utilizar juegos de foto-imanes para establecer relaciones, en esta actividad se propone relacionar los posibles animales polinizadores con la flor que le acomode. Parte importante para el cumplimiento de esta dinámica es proporcionar imágenes proporcionales entre las flores y sus polinizadores, con el fin de destacar la posible relación entre la estructura morfológica del polinizador y las de la flor (Fig. 7)

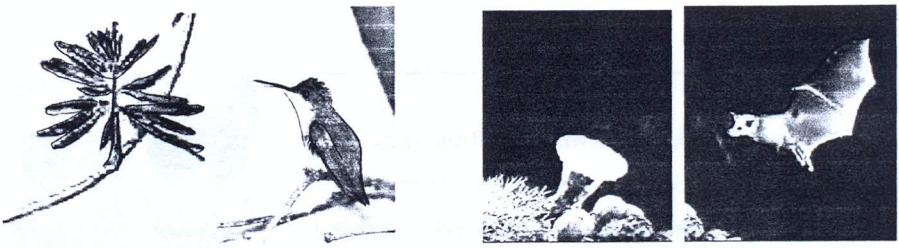


Fig. 11 Representación de los juegos de foto-imanes, cuya dinámica consiste en relacionar las inflorescencias con su posible polinizador, considerando para ello la información proporcionada sobre la relación de la fenología floral y los síndromes de polinización

AHORA ME VES, AHORA NO ME VES

También mediante la utilización de los foto imanes se puede invitar a armar rompecabezas como los que se muestran en la figura con el fin de destacar la adaptación correspondiente al camuflaje, una estrategia muy extendida en la naturaleza

AHORA ME VES, AHORA NO ME VES

¿Una hoja? ¿Una flor? ¿Quizá una piedra? Nada es lo que parece, ni ellos parecen lo que son. El mundo animal es capaz de vivir en un continuo carnaval y burlar con los mecanismos de su cuerpo

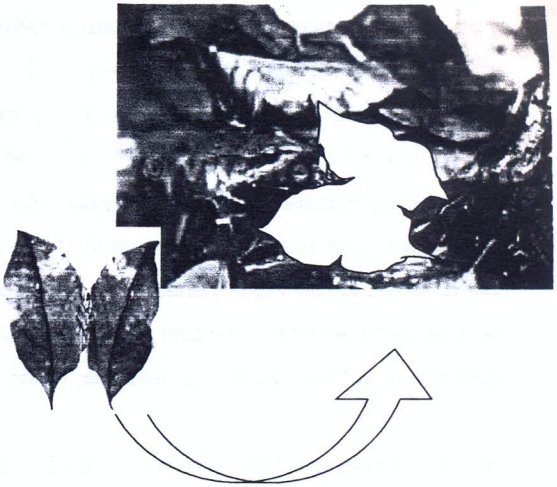
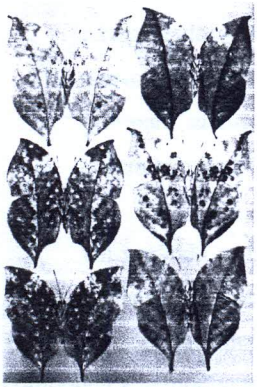


Fig. 12 *Kaslima inachus* como ejemplo de camuflaje

CEDULA 6



Si fueras una hoja "perfecta", no tardarían en encontrarte, ya que rara vez las hojas son perfectas, casi siempre tiene alguna rotura, algunas manchitas de hongos, etc.

Kaslima inachus no sólo presenta estos "defectos", sino que lo hace manteniendo un alto nivel de variabilidad, lo que logra despistar al insectívoro más observador.

Distribución de las instalaciones

Finalmente he aquí un propuesta sobre como organizar las intalaciones anteriores. De acuerdo con Mora y Tagüeña (2003), el diseño museográfico debe gran variedad de puntos de entrada (ganchos) y de salida en los equipos, que permitan a los visitantes seleccionar los puntos que mejor se ajusten a sus necesidades personales, así como presentar los temas complejos en etapas progresivas, de manera que el visitante pueda seleccionar el nivel y la complejidad de la información que necesita. Una manera de satisfacer ambos requerimientos en la distribución de los modulos propuestos es la siguiente (Fig. 11):

1 Una isla central (a modo de mesa) donde descanse el equipamiento "animales sin ojos y ojos para llevar", misma que puede ser circunscrita por una banca en la cual los visitantes puedan "tomarse un tiempo" para observar (y sentirse observado por tantos ojos) los otros módulos, así como para realizar "calcas" de los fotorrelieves situados en el borde de la isla.

2 En la periferia de esta isla podrían colocarse los tres módulos principales. Puesto que los módulos correspondientes a los ojos de humanos y de animales cuentan con un interactivo que permite girar los componentes móviles de los paneles de imágenes, será prudente que estos no se sitúen cercanos a una pared, sino por el contrario, sacar provecho del hecho que estos paneles brindan información por ambos lados. Finalmente, dado que el diorama correspondiente al concepto de coevolución está diseñado para interactuar por sólo una de sus caras, y considerando que para su funcionamiento requiere de contactos eléctricos, se sugiere colocarlo contra la pared.

Un segundo propósito de este ordenamiento circular, es el de evitar la exposición lineal de los temas que la componen, ya que un acomodo de este tipo podría sugerir al visitante que un orden ascendente o una estructuración jerárquica de los niveles que componen a la biodiversidad. Es importante recalcar que una de las intenciones que guarda esta propuesta es la de mostrar la simultaneidad de los procesos relacionados con el fenómeno de adaptación

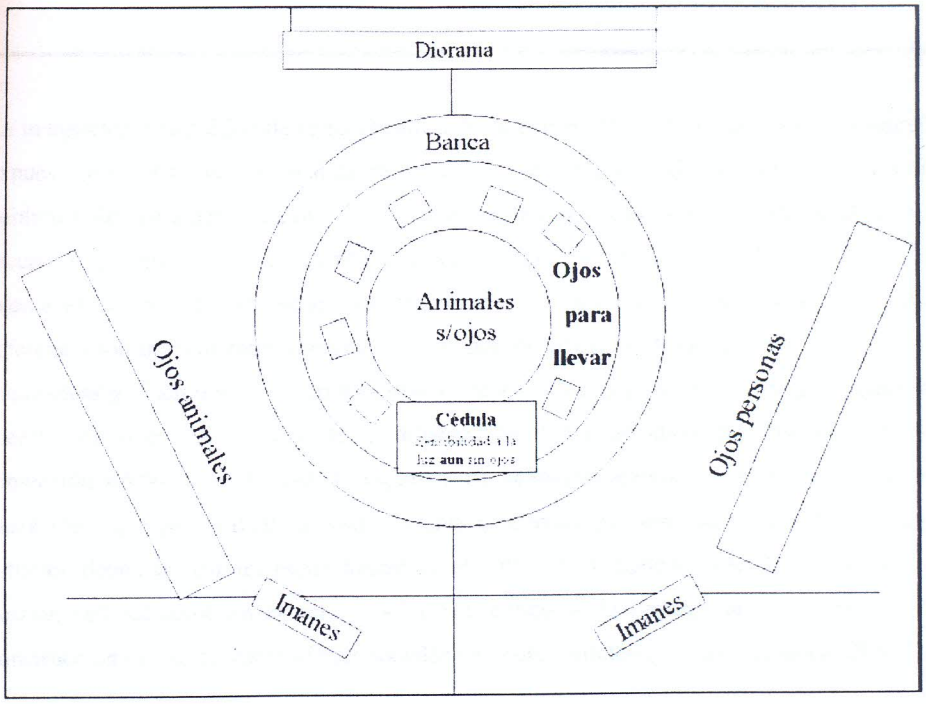


Fig 13. Distribución de las instalaciones

Sugerencias para realizar un análisis de público

La indagación sistemática de la recepción o de la percepción / interpretación del material expuesto por los museos se realiza en un área de investigación denominada "estudios de publico o de visitantes ". Estos estudios también han recibido el nombre de estudios "de recepción", y han tenido un desarrollo importante en los últimos veinte años de los que da cuenta ya una nutrida bibliografía internacional. Se trata de un campo discontinuo cuyos referentes son trabajos muy diferentes que se han desarrollado desde diversas perspectivas ideológicas y disciplinares, diferentes marcos teóricos y metodologías tanto en la etapa de recolección como de análisis de la información. Estos estudios que operan sobre la dimensión simbólica o afectiva, y cognitiva. En ocasiones alentados más por intereses de *marketing* que por evaluar al conocimiento académico no obstante se acepta que estos estudios deben ocupar un papel fundamental tanto en el planeamiento del campo de la gestión cultural como en el del conocimiento critico de la función de los museos en la construcción de las representaciones sociales del mundo contemporáneo (Cousillas,2002).

Los estudios de público proporcionan la información específica que les permitirá conocer los niveles afectivos y cognitivos de la audiencia y, desarrollar así, el mensaje que se desea transmitir.

El nivel cognitivo contesta la pregunta: ¿cómo es asimilada la información?, mientras que el nivel afectivo contesta la pregunta: ¿qué grado de interés despierta el tema de la exposición?. Estas preguntas no pueden separarse, una se debe al nivel de información que debe presentarse y la otra a la forma en que debe hacerse, por lo que ambas son importantes en el diseño museográfico.

Un enfoque exploratorio sobre el "éxito" de la exposición, entendido como el nivel cognitivo y afectivo alcanzado, habrá de contemplar las siguientes líneas metodológicas:

1. **Evaluación de las ideas previas de los visitantes**. Conocer el perfil de los conocimientos previos del público es importante no sólo en la etapa de planeación, sino también en la etapa evaluación, pues representa el punto de partida (cognitivo y afectivo) para abordar un estudio sobre el cambio conceptual que se verifica tras la visita. Este tipo de estudios suele considerar la realización de entrevistas y cuestionarios previos a la visita.
2. **Observación del comportamiento de los visitantes**. Recorridos, paradas (tiempo de permanencia frente a un módulo- "tiempo de vida"), rutinas de desplazamiento y frecuencia en la manipulación de los equipos interactivos, suelen ser los indicadores más comúnmente utilizados para evaluar el poder de atracción que la instalación ejerce sobre el visitante. De acuerdo con Hooper-Greenhill (1998), Hein (1998) y Diamond (2002), este tipo de medidas cuantitativas pretenden ser una herramienta objetiva para determinar el grado de interés en términos afectivos. Tales mediciones resultan útiles para elaborar un estudio comparativo sobre el poder de atracción relativo de cada uno de los diversos equipamientos presentes en una exposición, en una sala y/o en un todo un museo.
3. **Medición del aprendizaje**. El nivel de aprendizaje suele ser caracterizado por el nivel de memoria alcanzado, pero también por el poder de contextualizar la información recogida. Como sugiere Yarroch (1991) las preguntas deben ser novedosa y no encontrarse tradicionalmente en los exámenes escolares con el fin de no incurrir en respuestas mecánicas. Algunas preguntas sugeridas son:

   - Respecto a la neutralidad (caracteres que no pueden considerarse como adaptaciones) de las características fenotípicas de los ojos en los humanos:

     P: Los ojos de las personas que se dedican a las artes se pueden distinguir por:

     R= Ningún rasgo en particular

     P: Los ojos de los humanos son de muchos colores porque: a) el color de los ojos no afecta su funcionamiento; b) así como hay personas que prefieren casarse y tener hijos con personas de un color de ojos, hay otras personas que gustan de otro color de ojos, de manera que siempre ha habido manera de preservar todos los colores de ojos; c) como especie es importante que

que existan muchos colores de ojos en caso de que unos resulten mejor que otros para sobrevivir

R= a) el color de los ojos no afecta su funcionamiento

- Respecto al valor de los ojos como adaptaciones

P: Los ojos son: a) órganos sensibles a la luz; b) una solución al problema de cómo advertir un peligro, o cómo encontrar alimento; c) resultado de la evolución; d) de muchos tipos, según el medio y el modo de vida de su portador; e) a, b, c y d son falsas, f) a, b, c y d son ciertas

R= f) a, b, c y d son ciertas

P: Los ojos topos tienen mala visión porque: a) para vivir bajo tierra es mejor tener ojos pequeños o no tenerlos porque se llenarían de tierra y todo el tiempo estaría llorando, b) porque hubo una vez un topo mutante que nació con ojos muy pequeños y como no tuvo problemas para sobrevivir y encontrar pareja entonces heredó esta mutación a sus hijos, y sus hijos a sus hijos, etc.; c) lo que no se usa se atrofia o se pierde; d) no se.

R= b)

P: ¿Cuáles son los mejores ojos?: a) los de las águilas, porque les permiten ver bien lo que está muy lejos; b) los del calamar gigante, porque son los más grandes; c) los del tarsero, porque pueden ver de noche; d) todos los ojos que le permiten a su portador sobrevivir y reproducirse

R= d) todos los ojos que le permiten a su portador sobrevivir y reproducirse

- Respecto al papel de la adaptación en los procesos coevolutivos

P: ¿Qué pasaría si desaparecieran los murciélagos del Valle de Tehuacan-Cuicatlán?: a) los nopales no podrían formar semillas; b)los tetechos no podría formar semillas; c) los tetechos si podrían formar semillas; d) no pasaría nada.

R= b) los tetechos no podría formar semillas

P: ¿Cómo son las flores que visitan los colibríes?: a) planas y anchas como las margaritas; b) blancas y grandes como las de los tetechos; c) rojas y en forma te tubo como las del ocotilo y *Rathbutania;* d)pequeñas y blancas como las del anís (se sugiere incluir esquemas e investigar sobre los diversos nombre comunes que localmente se asignan a estas especies)

R= c) rojas y en forma te tubo como las del ocotilo y *Rathbutania.*

Conclusiones

Las razones por las cuales puede considerarse que la presente propuesta museográfica cumple con los objetivos planteados son :

- En términos museográficos porque cumple con las características de poseer una disposición que permite diversos puntos de entrada y de salida en los equipos, así como presentar los temas complejos en etapas progresivas, de manera que el visitante pueda seleccionar el nivel y la complejidad de la información que necesita.
- En términos de rigor científico porque los ejemplos presentados fueron cuidadosamente seleccionados a partir de una extensa documentación y numerosas consultas a diversos especialistas.
- En términos educativos porque parte de una necesidad reconocida por diversos investigadores sobre la importancia de trasmitir una noción correcta sobre el concepto de adaptación para alcanzar una mejor comprensión de temas como la evolución y la biodiversidad. Es también educativamente pertinente porque considera la influencia de la ideas previas de un importante sector del público (estudiantes de primaria y secundaria), y porque brinda tanto elementos teóricos como afectivos capaces de confrontar estas ideas previas y promover el aprendizaje significativo.
- En términos sociales porque pone en manifiesto la amenaza bajo la cual se encuentra un importante ecosistema mexicano, y porque además contribuye a distribuir el conocimiento generado por universidades nacionales.

Bibliografía

ACEVEDO, J.A. 1990. *Estudios de casos de innovación: enseñanza de la física en contexto.* Investigación en la Escuela, 12, 91-92.

ALBERTS, B., D.BRAY, J. LEWIS, M. RAFF, R. ROBERTS y J.D WATSON.1990 *Biología Molecular de la Célula* Ed. Omega

AUSBEL, D.P., J.D. NOVAK Y H. HANESIAN. 1995. *Psicología Educativa: Un Punto de Vista Cognoscitivo.* 8ª Ed. Trillas, México.

BARTH, FG .1989. *Insects and flowers, the biology of a partnership.* Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

BUTLER, S. 1992. *Science and Technology Museums.* Leicester: Leicester University Press.

BRUMBY, M.N. 1984. *Misconceptions about the concept natural selection by medial biology students.* Sci. Ed. 68(4): 493-503

CALVO HERNANDO, M. 2003. *Divulgación y Periodismo Científico: entre la claridad y la exactitud.* Dirección General de Divulgación de la Ciencia. UNAM. México.

- 2001 *¿Ciencia sin divulgación?.* Mundo Científico 2001; 21 (225).

CAPÓNI, G. 2003. *Darwin: entre Paleyy Demócrito.* História, Ciências, Saúde Manguinhos, vol. 10(3): 993-1023

CASAS A, A VALIENTE-BANUET, A ROJAS-MARTÍNEZ y P DÁVILA.1999. *Reproductive biology and the process of domestication of the columnar cactus Stenocereus stellatus in central Mexico.* American Journal of Botany 86: 534-542

CASTELLANOS, N.P. 1998. *Los museos como medios de comunicación: museos de ciencia y tecnología.* Revista Latina de Comunicación Social número 7, de julio de 1998

CSIKSZENTMIHALY, M., y E. ROCHBERG-HALTON. 1981. *The meaning of things: domestic symbols and the self.* Cambridge University Press, Cambridge.

CHEVALLARD, Y.(1992).*Transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné.* Grenoble. Cedex. Francia: La pensé sauvage

CHALLENGER, A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro.* México, D. F., Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, UNAM; Agrupación Sierra Madre, S.C.

CLEMENTS F.E. y F.L. LONG .1923. *Experimental pollination, an outline of the ecology of flowers and insects.* Carnegie Institution of Washington, Publication No. 336.

COLBY, C. 1997. *Introduction to Evolutionary Biology.* En: The Talk Origins Archive. Disponible en: http://www.talkorigins.org/

COUSILLAS, A.M. 2002. Los Estudios de Visitantes a Museos. Fundamentos generales y principales tendencias. Ciudad Virtual de Antropología y Arqueología.

BARAHONA, A. 1999. *Darwin y el concepto de adaptación* En: La Evolución Biológica. Núñez-Farfán y Eguiarte (comp.) UNAM México

DAVIS. F. 1993. *La Comunicación no verbal.* Alianza Editorial. Madrid.

DARWIN. 1859.*El origen de las especies.* Porrúa, México.

- 1862. T*he various contrivances by which British and foreign orchids are fertilisez by insects.* Murray, London.

- 1872. *The expression of the emotions in man and animals.* Murray, London.

- 1877. *The effects of cross and self fertilization in the vegetable kingdom.* Murray, London

- 1878. *The different forms of flowers on plants of the same species.* Murray, London

DÁVILA, P., J.L. VILLASEÑOR, R. MEDINA, R. RAMÍREZ, A. SALINAS, J. SÁNCHEZ-KEN y P. TENORIO. *1993. Listados florísticos de México X. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.* Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

DAWKINS, R. 1987. *The Blind Watchmaker.* Norton. N.Y.

- 1989. *The selfish gene.* 2ª ed. Oxford University Press, Oxford.

- 1994. *The eye in a twinkling.* Nature 368 (April 21):690

- 1995. *River out of Eden.* Basic Books. N.Y.

DE LA GÁNDARA, M., GIL, M.J. y SANMARTÍ, N. 2002. *Del modelo científico de «adaptación biológica» al modelo de «adaptación biológica» en los libros de*

texto de enseñanza secundaria obligatoria. Enseñanza de las ciencias, 20 (2), 303-314

DIAMOND, J. 2002. *Practical Evaluation Guide. Tools for Museums & other Informal Educational Settings*. Altamira Press. London

DOBZHANSKY, T., AYALA, F.; STEBBIN L. Y VALENTINE, J. 1980. *Evolución*. Omega. Barcelona.

ECCARDI, F. 2005. *La conservación de la biodiversidad*. Biodiversitas Núm. 58, enero

EHRLICH PR y PH RAVEN. 1964. *Butterflies and plants: a study in coevolution*. Evolution 18: 586-608.

EKMAN, P. (Ed.) 1973. *Darwin and Facial Expression: A Century of Research in Review*. New York: Academic Press

EKMAN, P, y W. V. FRIESEN .1975. *Unmasking the Face*. London: Prentice–Hall.

ELDREDGE, N. 1995. *Reinventing Darwin*. London, Phoenix

FAEGRI, K y L VAN DER PIJL.1979. *The principles of pollination ecology*. 3a Ed. Pergamon Press, Oxford, Inglaterra

FANJUL Y GONSEBATT. 1999. *Fisiología y Evolución*. En: La Evolución Biológica. Núñez-Farfán y Eguiarte (comp.) UNAM México

FEBER, S. 1987. *New Approaches to Science: In the Museum or Outwith the Museum*? En T. Ambrose (ed.) Education in Museums, Museums in Education. Edinburgh, HMSO.

FERRARI, M. y CHI, M.T.H. 1998. *The nature of naive explanations of natural selection. International Journal of Science Education*, 20(10), pp. 1231-1256.

FISHER, R. A., 1930 (reedición de 1958). *The genetical Theory of Natural Selection*. Dover, N.Y.

FUTUYMA, D. 1983. *Evolutionary interactions among herbivorous insects and plants*. En Futuyma & Slatkin (eds.), Coevolution, Sinauer Associated Publishers, Massachusetts

GANONG, W.F. (1971). *Fisiología médica*. México: El manual moderno.

GEHRING, W.J. 2002. *The genetic control of eye development and its implications for the evolution of the various eye-types*. International Journal of Development Biology

46(1):65-73GOULD, S.J. 1984. *Dientes de gallina y dedos de caballo*. Madrid: Hermann Blume.

GIBSON, A.C. y P.S. NOBEL. 1986. *The cactus primer*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

GOLDSMITH, T. H., 1990. *Optimization, constraint, and history in the evolution of eyes*. Quarterly Review of Biology. 65(3), 281-322. PubMed

GÓMEZ JM 2002. *Generalización en las interacciones entre plantas y polinizadores*. Rev. chil. hist. nat. v.75 n.1 Santiago mar. 2002

GOUL, S.J. y LEWONTIN, R. 1979. *The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme*. Proc. R. Soc. Lond., B. 205, pp. 581-598.

GOULD, S. J. & VRBA, E. S., 1982. *Exaptation -a missing term in the science of form*. Paleobiology, 8: 4-15.

GRANT V y KA GRANT. 1979. *The pollination spectrum in the southwestern american cactus flora*. Plant Systematics and Evolution 133: 29-37.

GRANT V y PD HURD. 1979. *Pollination of the southwestern Opuntias*. Plant Systematics and Evolution 133: 15-28.

GRAU, R. 1993. *Revisión de concepciones en el área de la evolución*. Enseñanza de las Ciencias, 11(1), pp. 87-89.

GUBERN, R. 2001. *Del rostro al retrato*. Anàlisi (27):37-42. Disponible en: www.bib.uab.es/pub/analisi/02112175n27p37.pdf

GUTIÉRREZ, R. 1984. *Piaget y el currículo de Ciencias*. Ed. Narcea. Madrid.

FUNDACIÒ LA CAIXA. 1985.*El Museu de la Ciència. Barcelona*: Fundaciò La Caixa,

HALFFTER, G. 1998. *A strategy for measuring landscape biodiversity*. Biology International, 36: 3-17.

HALL. E.T. 1959. The Silent Language. Greenwich, CT: Fawcett

HALLDÉN, O. 1988. *The evolution of species: pupil perspectives and school perspectives*. Int. J. Sci. Educ. 10(5): 541-552

HARTCOURT W y A. ESCOBAR. 2002. *Mujeres y política de lugar*. Desarrollo 45:7-13.

HEIN, G. 1998. *Learning in the museum*. London: Routledge

HESS, E. H.1978. *Improntación : experiencias tempranas y desarrollo psicobiológico de los vínculos.* Trillas. México.

HOOPER-GREENHILL, E. 1994. *Museums and their visitors*, Ed. Routledge, London.

- 1995. *Museums and the shaping of knowledge*. Routledge. London, New York.

- 2000. *Museums and the Interpretation of Visual Culture.* Routledge. London, NY

HUXLEY, J. 1965 (1943) *La evolución: la síntesis moderna*. Losada. Buenos Aires,

JACOB, F. 1974. *Évolution et réalisme.* Payot. Paris

JANZEN DH.1980. *When is it coevolution?* Evolution 34: 611-612.

KERNER A VON M 1878. *Flowers and their unbidden guests*. C. Kegan Paul & Co., London

KERNER A VON M y FW Oliver. 1895. *The natural history of plants. Their form, growth, reproduction, and distribution*. Blackie & Sons, London..

KNAPP, M.L. 1999. *La comunicación no verbal : el cuerpo y el entorno*. Paidós, D.L. Barcelona

KNUTH P (1898-1905) *Handbüch der Blutenbiologie*. Volume I-III. W. Engelmann, Leipzig, Alemania.

KOESTER, S. 1993. *Interactive multimedia in american museums.* Archives and museum informatics Technical Report. No. 16, 1993 (Smd).

LEWONTIN, R.C. 1978. *La adaptación, en Evolución*.Barcelona: Labor.

LÓPEZ MANJÓN, A. 1996. *La explicación teleológica en la enseñanza y aprendizaje de la biología, en Carretero, M.et al*. Construir y enseñar las ciencias experimentales pp.153-173. Buenos Aires: Aique.

MARGALEF, R. 1991. *Teoría de los sistemas ecológicos*. Publicacions Universitat de Barcelona.

MAYR, E. 1983. *How to carry out the adaptacionist program*? The American Naturalist, 121(3), pp. 324-334

MEHRABIAN, A. 1972. *Nonverbal Communication*. Chicago: Adeline–Atherton.

MILLER, D. 2000. *The wisdom of the eye*. Academic Press, U.S.A.

MILLER, K. R. 1994.*Life's Grand Design*. Technology Review, v. 97, no. 2, Feb./Mar. 1994: 24-32

MÜLLER H. 1883. *The fertilization on flowers*. MacMillan & Company, N

NILSSON Y PELGER. 1994. *Eye evolution: Darwin's shudder stilled*. Elsevier Science 3(7): 241-242

- 1994. *A pessimistic estimate of the time required for an eye to evolve*.Proceedings of the Royal Society B, 1994, v. 256: 53-58.

NÚÑEZ, R. 2002. *«El papel de los nuevos museos en la educación científica», Informe a la Comisión del Senado sobre la Enseñanza de las Ciencias en España*

NÚÑEZ-FARFÁN J. y L. EGUIARTE (comp.) 1999. *La Evolución Biológica*. UNAM México

OAKLEY, T.H., C.W. Cunningham. 2002. Molecular phylogenetic evidence for the independent evolutionary origin of an arthropod compound eye. Proc Natl Academy Science 99(3):1426-1430.

ODUM, E. 1995. *Ecología: peligra la vida*. Editorial Interamericana, México DF

PADILLA J. 1999. *Desarrollo de los museos y centros de ciencia en México*. En Chamizo JA (edit.), El impacto social de los museos y centros de ciencia, CONACyT y AMMCCyT, México (1999) 83-99

PÁRAMO-SUREDA, E. 2003. *El conocimiento puede ser contagioso: El papel de los museos en la cultura científica*. Quark (28-29)-abril 2003

PIRLOT, P. 1976. *Morfología evolutiva de los cordados*. Ediciones Omega. España.

POPPER, K.R. 1976. *Darwinism as a metaphysical research programme*. Methodology and Science 9: 103—119

PORSCH, O.1939. *Das Bestäubungsleben der Kakteenblüte*. II. Cactaceae. Jahrbuch der Deutsche Kakteen-Gesellschaft 2: 81-142

PREVOSTI, A. (1997). *La adaptación en biología*. Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales (11): 93-101

REACHY-VALDES, B. 2004. *Concepciones sobre biodiversidad en estudiantes de secundaria en un centro de educación no formal*. Tesis de Maestría. UNAM.

ROJAS-MARTÍNEZ A, A VALIENTE-BANUET, A ARIZMENDI, A ALCÁNTARA-EGÚREN y H ARITA.1999. *Seasonal distribution of the long-nosed bat (Leptonycteris curasoae) in North America: does a generalized migration pattern really exist?* Journal of Biogeography 26: 1065-1077

ROJAS-MARTÍNEZ, A. y A. VALIENTE-BANUET. 1996. *Análisis comparativo de la quiropterofauna del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, Oaxaca.* Acta Zoológica Mexicana (nueva serie) 67: 1-23.

PROCTOR M, P. YEO y A. LACK.1996. *The natural history of pollination.* Timber Press, Portland, Oregon.

SÁNCHEZ-MORA, M.C. 2004. *La enseñanza de la teoría de la evolución a partir de las concepciones alternativas de los estudiantes.* Tesis de Doctorado. UNAM. México

- 2004 *Los museos de ciencia, promotores de la cultura científica.* Elementos 53: 35-43.

SÁNCHEZ-MORA, M.C. y J, TAGÜEÑA. 2003. *Exhibir y diseñar, ¿para quien? La visión del público en los museos de ciencias.* Elementos No. 52, Vol. 10, Diciembre - Febrero, 2003 – 2004

SALVINI-PLAWEN, S. V. y MAYR, E., 1977. *On the evolution of photoreceptors and eyes.* Evolutionary Biology. 10, 207-263.

SOBERÓN, J.1999. *¿La teoría de la selección natural es tautológica?.* En: La Evolución Biológica. Núñez-Farfán y Eguiarte (comp.) UNAM México

- 2000. *El compromiso de ser un país megadiverso*: El Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Desarrollo Sustentable, febrero 2000: 28-31.

THOMPSON JN.1994. *The coevolutionary process.* University of Chicago Press, Chicago.

VALIENTE-BANUET A, MC ARIZMENDI, A ROJAS-MARTÍNEZ y L DOMÍNGUEZ-CANSECO.1996 *Ecological relationships between columnar cacti and nectar feeding bats in Mexico.* Journal of Tropical Ecology 12: 103-119.

VALIENTE-BANUET A, A ROJAS-MARTÍNEZ, MC ARIZMENDI y P DÁVILA. 1997. *Pollination biology of two columnar cacti (Neobuxbaumia mezcalaensis and Neobuxbaumia macrocephala) in the Tehuacán Valley, central Mexico.* American Journal of Botany 84: 452-455.

VALIENTE-BANUET A, A ROJAS-MARTÍNEZ, A CASAS, MC ARIZMENDI y P DÁVILA,1997.*Pollination biology of two winter-blooming giant columnar cacti in the Tehuacán Valley, central Mexico.* Journal of Arid Environments 37: 331-341.

VALIENTE-BANUET A, A CASAS A, P DÁVILA, MC ARIZMENDI, JL VILLASEÑOR y J ORTEGA-RAMÍREZ. 2000. *La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Boletín de la Sociedad Botánica de México 67: 24-74.

VALIENTE-BANUET A. 2002. *Vulnerabilidad de los sistemas de polinizadores de cactáceas columnares de México*. Rev. Chil. Hist. Nat v. 75 n.1 Santiago mar

VAN-PRAËT, M. 2001 Entrevista a Michel Van-Praët *"Un museo es para todo el mundo, no sólo para algunos expertos"* laTalaia no 02-27, 09.

WAGENSBERG J. 1997. *La vitrina. Reflexión en siete historias*. Quark (8)-jul-sep

- 1999. *Ideas para la imaginación impura*, Metatemas 54, España,

- 2000. Principios fundamentales de la museología científica moderna. Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales, VII (26).

WILLIAMS, G. 1966. *Adaptation and Natural Selection*. Princeton University Press, Princeton

WASER NM, L CHITTKA, MV PRICE, NM WILLIAMS y J OLLERTON .1996. *Generalization in pollination systems, and why it matters*. Ecology 77: 1043-1060.

WILSON, E.O. y F.M. PETER (eds). 1988. *Biodiversity*. Washington, D.C.: National Academy Press.

WEBER, T. 2002. *A place to discover: the museum as resource for education.* Disponible en :www.museoscienza.it/smec/pdf_spa/Chap%2002.pdf

YARROCH, W. L. 1991. *The implications of content versus item validity on science tests.* Journal of Research in Science Teaching. 18(7): 619-629.

EYE DESIGN BOOK. Disponible en: http:// www. eyedesignbook.com

UNCOVERING THE ANCESTRY OF A COMPLEX ORGAN, THE EYE. Disponible en http:// www. maayan.uk.com/evoeyes1.html