

Otras Voces

¿Cómo enfrentarse al problema de la resistencia en las plagas? El cambio biológico

María Pilar Jiménez Aleixandre

Comentario preliminar. Una comunidad de producción de conocimientos: el modelo de selección natural ocupa un lugar central en la articulación de la biología como disciplina y como campo de investigación. Pero, además, la teoría de la evolución modificó de forma radical posiciones ontológicas de mayor alcance que el dominio de la biología, cambiando la forma de concebir el mundo y, sobre todo, el lugar ocupado en él por los seres humanos. Concebir a los seres humanos como animales, seres vivos cuyo origen puede explicarse por las mismas teorías que explican el origen de las restantes especies, conllevó asimismo un cambio en los supuestos epistemológicos, en las ideas acerca del propio conocimiento. El ser humano dejaba de ser un ente aparte, el último grado en la escala de la perfección, pasando a integrarse en el conjunto de las innumerables especies, animales, vegetales, hongos y microorganismos, que pueblan la Tierra. La teoría de la evolución de Darwin y Wallace supuso pues no sólo una revolución científica, en el sentido de Kuhn, sino también una verdadera revolución intelectual de gran influencia en diversas ramas del pensamiento, de mucho mayor calado que otras teorías de comparable relevancia científica.

El objetivo de este programa de actividades es que el alumnado participe, trabajando en grupos, como miembros de una comunidad de producción de conocimientos, en la búsqueda de las respuestas a algunas de las preguntas que plantea el origen de los seres vivos y los fenómenos evolutivos, en la reconstrucción de los acalorados debates que la teoría de la evolución ha suscitado y sigue suscitando.

El diseño de las actividades se enmarca en la perspectiva de Giere que considera el razonamiento científico, más que como un proceso de inferencia, como una toma

de decisiones, un ejemplo del ejercicio humano de juzgar. Varias de las actividades demandan que el alumnado tome parte en procesos de elección entre los distintos modelos o teorías que compiten en la explicación de un fenómeno, reflexionando sobre los criterios utilizados para ello, siguiendo la propuesta de Duschl (1997) de aplicar esta perspectiva a la enseñanza de las ciencias.

El contenido de las actividades se ha elegido teniendo en cuenta su contexto social, optando por análisis de casos de cambio biológico de relevancia para la vida de las personas: los insectos que constituyen plagas y vectores de enfermedades. El programa de actividades parte de una simulación que constituye un problema auténtico (Jiménez Aleixandre, 2003) cuya resolución vertebrará la unidad. Creemos que este enfoque es coherente con el objetivo de formar personas críticas, ciudadanos y ciudadanas capaces de pensar por sí mismos, y que refleja una imagen de la ciencia como una actividad problemática, sujeta a debates y continuas revisiones, provisional, influida por las ideologías y poderes en la sociedad en la que se desarrolla e influyendo sobre ella.

INTRODUCCIÓN: PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA Y EXPLORACIÓN DE LAS IDEAS DEL ALUMNADO

Actividad 1. Resistencia a los insecticidas

Desde 1908, en que apareció el primer caso de resistencia, el número de insectos que constituyen plagas para cultivos o que transmiten enfermedades ha aumentado año tras año, dificultando enormemente su control. Esto es causa de gran preocupación para los gobiernos de distintos países y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Se les pide a ustedes que trabajen en equipos sobre este problema, analizando sus causas y proponiendo soluciones. Para ello deben estudiar atentamente la información que se proporciona más adelante e ir realizando las actividades, guardándolas en su carpeta o cuaderno para revisarlas al final de la tarea.

En la segunda mitad del siglo XX, durante la llamada “revolución verde”, la agricultura tradicional se ha visto sustituida por otra en la que se utilizan en mucho mayor grado abonos e insecticidas. Sin embargo, en los últimos años se ha puesto de manifiesto que hay muchos insectos y arácnidos (unas 500 especies) de los que constituyen plagas para los cultivos, como pueden ser las polillas de la papa, los barrenadores del maíz, o las moscas que atacan los frutales, a los que no hacen efecto los insecticidas más utilizados, o que necesitan cantidades mayores para su control. Este fenómeno se conoce como resistencia. Aunque ahora se utilizan más plaguicidas químicos (hasta 2 millones de toneladas de ingredientes activos por año en todo el mundo), el porcentaje de pérdida de cosechas es de un 30% (Riechmann, 2000), similar al de los años cuarenta.

Lo mismo ocurre con los insectos que transmiten enfermedades (llamados vectores), por ejemplo los mosquitos que transmiten la malaria, las pulgas o las cucarachas. En 1955, la malaria se combatía con rociados de DDT, pero veinte años después se comprobó, tanto en América como en África y Asia, que numerosas poblaciones de mosquitos no eran afectadas por este insecticida.

- 1a) *¿Qué explicación creen que tiene el hecho de que hace años les hiciesen efecto los insecticidas y ahora no? Si piensan que hay varias explicaciones posibles, anótenlas todas.*

Comentarios 1a. Es importante explorar las ideas del alumnado, sus explicaciones a un caso de cambio biológico, no tanto para que el profesorado las conozca, pues probablemente serán similares a las detectadas por la investigación, sino sobre todo para que ellos mismos sean conscientes de qué modelos o ideas están empleando para explicarlo, primer paso para el cambio conceptual.

Según muestran distintos estudios (por ejemplo, Jiménez Aleixandre, 1991), sólo una pequeña proporción (menos del 10%) de estudiantes de secundaria o bachillerato explican la resistencia por supervivencia diferencial, mientras que la mayoría (más del 60%) la explica "porque se han ido acostumbrando a ese veneno", "por procesos genéticos de inmunización progresiva", es decir utilizando la idea de adaptación como proceso, y la herencia de los caracteres adquiridos. Otros dan explicaciones finalistas: "Las especies han mejorado con el paso del tiempo".

Algunas cuestiones que se pueden discutir, antes de entrar en el modelo de selección natural, si los estudiantes dan estas respuestas, son:

¿Creen que los individuos se acostumbran a un veneno o no? (si han contestado que "se acostumbran").

¿Es el mismo proceso inmunidad y resistencia? (si han contestado que "se inmunizan").

¿Puede un agente tóxico en el medio causar efectos (mutaciones genéticas) dirigidas a dotar de protección contra ese agente? Por ejemplo, las mutaciones causadas por la bomba atómica de Hiroshima o el accidente nuclear de Chernobil, ¿confieren protección contra las radiaciones? (si han contestado que "han experimentado mutaciones").

Es conveniente conservar las explicaciones previas para que al final de la unidad los alumnos y alumnas puedan compararlas con las nuevas, siendo así conscientes de lo que han aprendido. No se trata de darles ahora la respuesta (modelo de selección natural), sino indicar que seguiremos trabajando a lo largo de la unidad.

- 1b) *Elaboración de una gráfica.* Las siguientes cifras dan una idea del aumento de las resistencias a lo largo del siglo XX. *Elaboren una gráfica con ellas.*

Año	Número de especies resistentes
1900	Ninguna conocida
1908	1 (cochinilla)
1920	6
1945	20
1966	180
1968	228
2000	500

- 1c) *Relación entre el uso de DDT y las variaciones en la resistencia.* En 1945 comenzó a extenderse por todo el mundo el uso del DDT y otros plaguicidas. *¿Se observa algún cambio en la evolución de las resistencias a partir de ese año? ¿Cuál? ¿Qué explicación puede tener?*

- 1d) *Elaboración de un banco de palabras.* Elaboren una lista de conceptos o términos que aparecen en el texto sobre “resistencia a insecticidas” y que les parezca que es necesario tener claros para resolver la tarea. Busquen su significado en un diccionario o pregúntenle al profesor o profesora las que no conozcan, y anótenlo.

Comentarios 1b a 1d. El objetivo de 1b es poner de manifiesto visualmente el enorme incremento en las resistencias a partir de la extensión del uso del DDT. El alumnado puede construir en grupos una simple gráfica de coordenadas. En 1c se pretende que relacionen el período de mayor incremento (de 1945 a 1966) con esa extensión en el uso del DDT. Las explicaciones serán, muy probablemente, similares a las expuestas para 1a.

El banco de palabras tiene el objetivo de clarificar conceptos, entre otros, por ejemplo:

Plaga: organismo que causa daños en los cultivos, por ejemplo insectos, hongos (como el tizón de la papa), gusanos, etc.

Plaguicida: sustancias utilizadas para matar los organismos que son plagas. Según el organismo, reciben distintos nombres: insecticidas, fungicidas, vermicidas, etc. En esta unidad nos ocupamos sobre todo de los insecticidas.

Vectores: insectos que transmiten una enfermedad infecciosa, como el mosquito, que transmite con su picadura el agente de la malaria.

El desarrollo de resistencia es un ejemplo de cambio biológico, de organismos que, al cabo de varias generaciones, son distintos en algún carácter a sus antepasados. Una cuestión relacionada con ésta es la gran variedad de seres vivos que pueblan la Tierra.

Actividad 2. Origen de las especies

- 2a) *¿Cómo ha llegado a existir este gran número de animales y vegetales diferentes?*
 2b) *¿Les parece que hay más, menos o igual número de especies ahora que en los primeros tiempos de vida en la Tierra?*

Comentarios 2a y 2b. Las respuestas del alumnado a la cuestión 2a son variadas, pero es probable que alrededor del 50% lo expliquen utilizando la idea de la adaptación como proceso y la necesidad (lo que solemos llamar explicaciones “lamarckistas” aunque ello no haga justicia a Lamarck), por ejemplo *“al irse extendiendo por la superficie de la tierra esas plantas necesitaban adaptarse a ese clima”,* o *“en diferentes condiciones de vida evolucionan de manera diferente según sus necesidades de adaptabilidad”,* o *“un animal se subió a un árbol y se acostumbró a ese medio de vida”,* donde se observa que utilizan el término “evolución”, pero con un significado distinto al modelo de Darwin y Wallace. Otros dan explicaciones finalistas y antropocéntricas; por ejemplo, *“porque los vegetales existentes son necesarios para la producción de oxígeno en la atmósfera”,* o *“para mantener un equilibrio natural. Cada especie es complementaria de otra y necesita de las demás para poder vivir. Si no existieran vegetales, los herbívoros no podrían sobrevivir, y sin éstos los carnívoros morirían. Tampoco el hombre podría sobrevivir”,* confundiendo un proceso (equilibrio) con una causa, y proponiendo que los organismos existen porque otros (o el ser humano) lo necesitan.

Entre las respuestas a 2b hay algunos que responden adecuadamente que el número es mayor ahora, pero otros contestan que es menor, debido a las extinciones causadas por los seres humanos, lo que pone de manifiesto una confusión entre magnitudes: el

número de especies se incrementó desde los primeros organismos al gran número que existe en la actualidad (y que ha existido en momentos anteriores, desapareciendo en las grandes extinciones, como la del Cretácico, en la que perecieron los dinosaurios).

1. EXPLICACIONES HISTÓRICAS SOBRE EL ORIGEN DE LAS ESPECIES

Desde muy antiguo se han buscado respuestas a la cuestión de cómo ha llegado a haber la gran variedad de especies que existen sobre la Tierra. Las explicaciones populares a la variedad de la vida se recogen en numerosos mitos de creación en distintas culturas. A continuación reproducimos unos fragmentos de dos de ellos, el del *Popol Vuh*, de un pueblo maya, los quichés de Chichicastenango, Guatemala, y el del Génesis, en la Biblia.

La primera creación según el Popol Vuh: “Sólo había cielo y mar en la oscuridad. Sobre el mar estaban los dioses creadores, ocultos bajo plumas verdes y azules (...) Entonces crearon por medio de la palabra. Dijeron: ¡Hágase así! ¡Que se llene el vacío! ¡Que esta agua se retire y desocupe (el espacio), que surja la tierra y que se afirme. (...) Dijeron ‘Tierra’ y al instante surgió la tierra, las montañas emergieron del agua y crecieron, cubriéndose enseguida de árboles (...) Luego hicieron a los animales, a los genios de las montañas y a los guardianes de los bosques: venados, pájaros, pumas, jaguares, culebras y víboras”. (En J. Monjarás, coord., *Mitos cosmogónicos del México indígena*. México: INAH, 1987).

La creación según el Génesis: “Dijo Dios: ‘Produzca la tierra vegetación: hierbas que den semilla y árboles frutales que den fruto de su especie, con su semilla dentro, sobre la tierra’. Y así fue. (...) Y atardeció y amaneció: día tercero. (...) Dijo Dios: ‘Bullan las aguas de animales vivientes y aves revoloteen sobre la tierra contra el firmamento celeste’. Y creó Dios los grandes monstruos marinos y todo animal viviente. (...) Y atardeció y amaneció: día quinto. Dijo Dios: ‘Produzca la tierra animales vivientes de cada especie: bestias, sierpes y alimañas terrestres de cada especie’. Y así fue. (...) Y dijo Dios: ‘Hagamos al ser humano a nuestra imagen, como semejanza nuestra, y manden en los peces del mar y en las aves de los cielos, y en las bestias y en todas las alimañas terrestres’.

Pueden leer el texto completo del Génesis en la Biblia y buscar otras narraciones populares de su país.

Actividad 3. ¿Fijismo o evolucionismo?

Las explicaciones sobre el origen de las especies animales y vegetales pueden distribuirse en dos grandes bloques. Las explicaciones fijistas proponen que las especies aparecieron todas al mismo tiempo, al inicio de la historia de la Tierra, y que no han cambiado, manteniéndose inmutables, fijas. Las explicaciones evolucionistas proponen que las primeras especies han ido cambiando (evolucionando), y que las que existen ahora son diferentes y descienden de aquellas pocas especies primitivas. Las diferencias entre los dos bloques de explicaciones pueden resumirse en:

Tipo de causas por su origen. Para las teorías fijistas, la aparición de las especies se debe a causas sobrenaturales, y que actuaron una o pocas veces de manera excepcional (en geología esto se conoce como catastrofismo). Para las teorías evolucionistas, se debe a causas que tienen que ver con fenómenos naturales, observables, y que proceden a un ritmo lento y de forma repetida (uniformismo).

Tipo de causas por su semejanza o diferencia con las iniciales. Para las teorías fijistas, las causas que operaron en los primeros tiempos eran diferentes; para los evolucionistas, son las mismas causas y procesos que operan en la actualidad (actualismo).

Tipo de mecanismos. Para las teorías evolucionistas, los mecanismos y leyes de la naturaleza son los mismos para todos los seres vivos; para las fijistas, hay casos especiales, por ejemplo el ser humano es un caso aparte (objeto de una creación específica).

3a) *¿A qué grupo pertenecen las explicaciones del Popol Vuh y el Génesis: fijistas o evolucionistas? Razonen la respuesta.*

3b) *Marquen las frases o fragmentos de cada texto que justifican el que lo hayan situado entre las fijistas o los evolucionistas.*

Comentarios 3a y 3b. El objetivo es que los alumnos y alumnas reflexionen sobre algunos de los supuestos ontológicos y epistemológicos (aunque con ellos no utilizemos estos nombres) que están en la base de la teoría de la evolución de Darwin y Wallace, así como los supuestos fijistas con los que constituyeron una ruptura, al aplicarlos para situar las narraciones del Popol Vuh y el Génesis en uno u otro bloque. Para que puedan hacer suyos estos conocimientos en cuanto a las diferencias entre ambas explicaciones es importante que operen con ellos.

Estas posiciones descartadas tenían su origen en creencias religiosas, en una interpretación literal de la Biblia, y llevaron a la Iglesia a una oposición frontal a las teorías evolucionistas anteriores a Darwin, siendo el temor a este conflicto, según distintos autores, una de las causas de que se retrasase durante más de veinte años la publicación de *El origen de las especies*. Los temores de Darwin estaban fundados y su obra fue incluida en el "Índice" de libros prohibidos, poniéndose en muchos países obstáculos a su enseñanza (que aún persisten hoy día, por ejemplo, en varios estados de Estados Unidos). El evolucionismo requiere un marco en el que se acepten las causas naturales y la generalizabilidad y universalidad de los mecanismos naturales y de las explicaciones teóricas. Las diferencias se resumen en la figura 1 (Jiménez Aleixandre, 2004).

Supuestos	Evolucionismo	Ruptura con	
Ontológicos	<ul style="list-style-type: none"> - Causas naturales, uniformismo - Causas actuales y pasadas, actualismo - Seres humanos <i>parte</i> del mundo natural 	<ul style="list-style-type: none"> - Causas sobrenaturales, catastrofismo - Causas al inicio de la historia de la Tierra - Seres humanos <i>sobre</i> el mundo natural 	Influídos por creencias religiosas
Epistemológicos	Generalizabilidad: <ul style="list-style-type: none"> - Mecanismos ≈ para todos los organismos - Explicación común para ≠ lugares 	Especificidad: <ul style="list-style-type: none"> - Creación especial del ser humano - Explicaciones específicas 	

Figura 1. Supuestos ontológicos y epistemológicos del evolucionismo.

Es importante tener en cuenta las rupturas de carácter ontológico y epistemológico que conlleva la enorme transformación en las explicaciones sobre el origen de las especies del modelo evolucionista, para valorar en su justa medida las dificultades de comprensión y uso del modelo por parte del alumnado que la investigación didáctica ha constatado en diferentes países y niveles educativos.

Actividad 4. ¿Qué edad tiene la Tierra?

4a) ¿Cuál de estas edades creen que se aproxima más a la de la Tierra? (a = años, ma = millones de años)

4.500 a 45.000 a 450.000 a 4,5 ma 45 ma 450 ma 4.500 ma

Tres propuestas sobre la edad de la Tierra:

Siguiendo la Biblia: Las explicaciones evolucionistas del origen de las especies y las teorías actualistas en geología suponen que los procesos naturales tienen que haber operado durante muchos miles de años para llevar a cabo efectos como formación de valles y montañas, o transformaciones en los seres vivos. Esta idea de un largo tiempo contradecía la interpretación literal de la Biblia, según la cual, calculando las generaciones desde Adán y Eva, Lighfoot dedujo en el siglo XVII que la Tierra había sido creada el 17 de septiembre de 3928 antes de Cristo. Pocos años después, el arzobispo Usher revisó los cálculos y lo retrasó hasta el 24 de octubre de 4004 a.C. En el siglo XVIII Buffon, explicó la historia de la Tierra prescindiendo del diluvio y proponiendo una edad de 74.000 años, pero en 1751 fue condenado por la Facultad de Teología y obligado a retractarse (a decir que estaba equivocado).

Cálculo del físico Lord Kelvin: En 1862, después de la publicación de *El origen de las especies* de Darwin y de los *Principios de Geología* de Charles Lyell, que defendían una edad de la Tierra del orden de miles de millones de años, el físico Thompson (conocido como Lord Kelvin, autor de la escala de temperatura que lleva su nombre) calculó esta edad basándose en el segundo principio de la termodinámica. Afirmaba que si la Tierra se había ido enfriando, desde una situación inicial de incandescencia y con el Sol como única fuente de calor, midiendo: a) el aumento de temperatura a medida que se profundiza en el interior de la Tierra (gradiente geotérmico, 1° cada 33 m), y b) la conductividad de la corteza, y suponiendo que la temperatura del interior (que no podía medir) era aquella a la que se funden las rocas, se podía calcular el tiempo que había tardado en enfriarse, es decir su edad. Obtuvo un valor de 100 millones de años, que más tarde redujo a 24 millones.

Los naturalistas Lyell y Darwin pensaban que esto era demasiado poco tiempo, pero a estos datos y fórmulas cuantitativos no podían oponer más que razonamientos cualitativos, el tiempo necesario para que se formase el relieve y los seres vivos llegasen a ser como los conocemos hoy, no cifras concretas. Lyell mantenía que en el interior de la Tierra había procesos que generaban energía. La física era una ciencia prestigiosa, mientras que la biología y la geología estaban comenzando a constituirse, y la mayoría consideró que Kelvin, que proporcionaba cifras y datos, llevaba razón.

Cálculos actuales, datación absoluta y relativa: A partir del descubrimiento por Marie y Pierre Curie de la desintegración de los elementos radiactivos, que genera energía y calor en la Tierra, los cálculos de Kelvin perdieron uno de sus fundamentos. La radiactividad ha permitido calcular la edad de los materiales terrestres, por medio por ejemplo del carbono 14, y hoy día se estima en 4.500 millones de años la edad de la Tierra, dándoles la razón

a Lyell y Darwin. El método del carbono 14 es de datación absoluta, puede utilizarse para determinar la edad de un material con un margen de error del 2%. Otros métodos, como el estudio del polen, los anillos de crecimiento en los árboles, la secuencia estratigráfica o los fósiles, son de datación relativa, permiten conocer si un material o fósil es más o menos antiguo que otro, o calcular su edad por comparación con otro de edad conocida.

- 4b) *Expliquen cómo es posible que Kelvin llegase a conclusiones erróneas partiendo de principios teóricos correctos, como el segundo de termodinámica. Esta cuestión está relacionada con ¿vale cualquier método para cualquier problema?, o ¿es siempre preferible un cálculo cuantitativo a una estimación cualitativa?*
- 4c) *Construcción de una escala del tiempo geológico: en primer lugar hay que medir el perímetro de la pared del aula y dividir la edad de la Tierra entre esta medida, para identificar la escala. Por ejemplo, si la clase mide $9 \times 5 = 45$ m, correspondiente a los 4.500 m.a., 10 m son 1.000 m.a., 1 m son 100 m.a. y 1 cm es 1 m.a. Utilizar un rollo estrecho de papel de cinta registradora o similar, fijándolo a lo largo de todo el perímetro, es nuestra escala de tiempo. Utilizando un libro en el que aparezcan las eras geológicas, marcar en la escala las eras y períodos, y situar sobre ella momentos importantes, como: origen de la vida, plantas verdes, primeros peces, anfibios etc., la gran extinción del Pérmico, la extinción de los dinosaurios, los primeros homínidos.*
- 4d) *Teniendo en cuenta que los métodos están sujetos a error, ¿es posible calcular cuándo ocurrió un suceso hace millones de años, por ejemplo la aparición de la vida, con una precisión de meses o días o sólo aproximadamente? Razonen la respuesta.*
- 4e) *¿Podemos ver crecer las uñas? ¿Y el pelo? ¿Quiere esto decir que siempre están iguales? Si tuviesen que demostrarle a alguien que crecen ¿cómo lo harían?*

Comentarios 4a a 4e. El objetivo común es que el alumnado trabaje con la idea del tiempo geológico, procesos que tienen lugar a lo largo de miles de años, un concepto que presenta serias dificultades de aprendizaje, pues es muy diferente de la escala de la vida humana. Una gran proporción de estudiantes elige un valor medio (45 ó 450 m.a.) en lugar del valor correcto de 4.500 millones, aunque en la última década la popularidad de películas como *Parque Jurásico* y otros materiales sobre dinosaurios hace que tengan una idea aproximada de la fecha de extinción de éstos (hace unos 65 m.a.) y por tanto deduzcan que la edad de la Tierra debe ser mayor. Es éste un dato sobre el que podemos preguntarles si las cifras que proponen son menores.

El objetivo de 4b es reflexionar sobre un ejemplo de debate científico que opone, además de puntos de partida teóricos distintos, métodos diferentes, poniendo de manifiesto que no hay un “método científico” universal, así como que no siempre es más exacto un cálculo cuantitativo (o una cifra con muchos decimales), y que el uso de una fórmula matemática no garantiza resultados correctos, ya que algunos de los datos utilizados pueden ser erróneos, como le ocurrió a Kelvin. Cabe hacer notar que el debate entre Lyell y Kelvin es de carácter científico, mientras que Usher partía de prejuicios de carácter ideológico (religioso).

En 4c la construcción de la escala en papel, sobre la que se pueden situar eras y acontecimientos, ayuda a visualizar la idea del tiempo geológico y la pequeñísima parte de la historia de la Tierra durante la cual existen los homínidos.

Por último, en 4d y 4e se pretende discutir la idea de estimación, como cálculo aproximado y del error en la medición, poniendo de manifiesto la imposibilidad de cálculos precisos para sucesos tan remotos: en 500 m.a. el 2% son 10 millones de

años. A pesar de ello, es conveniente resaltar la importancia de la datación relativa, poniendo ejemplos de su propia vida (pueden no recordar la fecha exacta de un suceso, pero sí si ocurrió antes o después de otro, un nacimiento, viaje, cambio de residencia, etc.). En cuanto a las uñas y el pelo, son también ejemplos que se apoyan en su propia experiencia sobre la lentitud de procesos, demandando la reflexión sobre marcas o señales (pintar un punto en la uña, anudar unos cabellos, etc.).

2. LAS PRIMERAS TEORÍAS EVOLUCIONISTAS Y SUS Oponentes: LAMARCK Y CUVIER

Las explicaciones fijistas que seguían la creación narrada en el Génesis fueron dominantes durante muchos años, y debido a la importancia de la Iglesia tenían carácter oficial. Así, Linneo, a quien debemos el sistema de clasificación de los seres vivos y la nomenclatura binomial, afirmaba: *"La naturaleza cuenta con tantas especies como fueron creadas desde el origen"*. Esto suponía que habían permanecido iguales desde entonces. El fijismo explica las características adaptativas de los organismos por un diseño inteligente, es decir por haber sido diseñadas por el creador para ese fin, argumentando que la existencia de un reloj supone la del relojero. Hasta el siglo XIX persistió una clasificación de los mamíferos en la que los seres humanos se situaban en un orden aparte, bimanos, y no incluidos en los primates, ya que uno de los puntos de debate con el evolucionismo fue la posición del ser humano, que se consideraba situado sobre los demás seres vivos. A medida que se fue dejando de considerar a la especie humana como razón de todo lo existente, la explicación de que las demás especies existen porque son útiles a la especie humana fue siendo menos aceptable.

En el siglo XVIII se realizaron gran número de expediciones científicas, en las que se descubrieron cientos de nuevas especies animales y vegetales similares, pero no idénticas, a otras conocidas, lo que cada vez resultaba más difícil de explicar con las teorías fijistas. Quizás los datos más contradictorios con el fijismo eran los fósiles, restos o huellas de seres vivos mineralizados, como los huesos o pisadas de dinosaurios. En muchos casos eran muy distintos de las especies actuales emparentadas con ellos. Para los partidarios de que las especies cambian, eran una prueba del cambio. Para los partidarios del fijismo, eran prueba de cataclismos como el diluvio universal, que, según el geólogo Whiston, se habría producido el 18 de noviembre de 2349 a.C., y que podía haber transportado seres marinos a la cima de las montañas. A estos organismos antiguos se les llamaba "antediluvianos". Vamos a analizar a continuación el primer intento de teoría evolucionista (Lamarck), y la que se le opuso (Cuvier).

Modelo evolucionista de Lamarck, tendencia a la perfección. La idea del cambio o transformación de las especies tiene precursores, pero Lamarck (1744-1829) tuvo el mérito de estructurarla por vez primera de forma coherente, lo que se produce en el contexto de los descubrimientos de nuevas plantas y animales en expediciones y de las polémicas sobre los fósiles. Lamarck se dedicó al estudio de los "animales inferiores", que llamó invertebrados, y parece que esto hizo cambiar sus ideas pasando a defender la transformación de unas especies en otras: *"Con el paso del tiempo, la continua diferencia de las situaciones (...) tras muchas generaciones sucesivas, estos individuos, que pertenecían originariamente a otra especie, se encuentran transformados por fin en una especie nueva, distinta de la primera."* (*Filosofía Zoológica*, 1809). Además de la refutación de la inmutabilidad de las especies, Lamarck señaló otra importante condición: los cambios se producen a ritmo

lentísimo, pues la naturaleza dispone de un “tiempo infinito”, y debido a ello son imperceptibles. Propuso una explicación a las especies fósiles extintas distinta al diluvio u otras catástrofes. Lamarck consideraba a los seres vivos ordenados en una escala de menor a mayor complejidad o “perfección”, y proponía que los órganos cambian por uso o desuso, necesidad o costumbre y que las características adquiridas se transmiten a la descendencia. Dos ejemplos son su explicación de la desaparición de las patas en las serpientes y de la longitud de patas y cuello en la jirafa (animal recién descubierto que despertaba mucha curiosidad).

“Las serpientes deberían, en consecuencia [como vertebrados que son], tener cuatro patas (...) Sin embargo, al haber tomado la costumbre de arrastrarse sobre la tierra y esconderse bajo las hierbas, han hecho que su cuerpo adquiriera una longitud considerable y en absoluto proporcionada a su grosor, como consecuencia de los esfuerzos siempre repetidos para alargarse, para poder pasar por espacios estrechos. Así pues, las patas habrían sido muy inútiles para estos animales, y en consecuencia un verdadero estorbo, pues unas patas largas hubieran sido nocivas para su necesidad de arrastrarse y unas patas muy cortas (...) hubieran sido incapaces de mover su cuerpo. Así, la falta de empleo de estas partes (...) ha hecho desaparecer totalmente las mismas”.

“Este animal (la jirafa), ... vive en lugares en que la tierra, casi siempre árida y sin hierba, lo obliga a pacer el follaje de los árboles y a esforzarse continuamente por alcanzarlo. De esta costumbre resulta, después de largo tiempo, en todos los individuos de su raza, que sus piernas de delante se han vuelto más largas que las de detrás, y que su cuello se ha alargado de tal forma que la jirafa, sin levantarse sobre sus patas traseras, eleva su cabeza y alcanza seis metros de altura”.

Posición de Cuvier: plan previo, inmutabilidad de las especies. Cuvier (1769-1832) fue contemporáneo de Lamarck, pero mejor situado profesionalmente, profesor del Museo de Ciencias y secretario de la Academia, por lo que su oposición frontal a la evolución llevó a que las ideas de Lamarck apenas fuesen tenidas en cuenta en Francia. Defendió la inmutabilidad de las especies: *“(cuando) se comparan individuos procedentes de hábitats ricos o pobres, o de climas calientes o fríos, se constata que (...) los rasgos esenciales, representados por los órganos importantes o las estructuras corporales, se mantienen constantes en todas las zonas geográficas”.* A pesar de que demostró que en cada horizonte estratigráfico hay fósiles específicos, es decir que los animales fósiles son distintos de los actuales, explicaba la extinción de especies por cataclismos, no por sustitución. Su perspectiva fijista de que cada organismo había sido creado para ocupar un lugar concreto en la armonía natural era incompatible con la idea del cambio y le llevaba a explicar la adaptación por diseño previo; por ejemplo, los peces están hechos para el ambiente acuático: *“Éste es su puesto en la Creación. Allí se quedarán hasta la destrucción del presente orden de cosas”.* Explicaba la semejanza entre órganos homólogos por la “unidad del tipo” o patrón por el que habían sido creados. Muchos de sus descubrimientos fueron utilizados más adelante como soporte del evolucionismo.

Actividad 5. ¿Qué prueban los órganos homólogos?

Los órganos homólogos fueron tratados por primera vez por el zoólogo inglés Richard Owen, contemporáneo de Lamarck y Cuvier, que los definió como el mismo órgano en diferentes animales, situado en la misma posición respecto a otros, aunque su función e incluso su forma fuesen distintas. Por ejemplo, la pata de un caballo, la de una rana, la aleta pectoral de un pez, las alas de un murciélago. Para Owen eran una prueba a favor del

fijismo, una muestra de que el creador había diseñado un arquetipo o modelo ideal, del que por ejemplo los distintos vertebrados serían variaciones. Para el evolucionismo, si las especies fuesen creadas de forma independiente no tendría sentido que poseyesen los mismos huesos o estructuras.

- 5a) *Comparen la explicación de Cuvier sobre los órganos homólogos con la de Owen. ¿Son iguales u opuestas? Razónenlo.*
- 5b) *Los órganos homólogos han sido utilizados más adelante como prueba del evolucionismo, de que diferentes especies proceden de un antepasado común. Escriban una breve (5 a 8 líneas) argumentación sobre los órganos homólogos como prueba de la evolución.*
- 5c) *Hemos tratado más arriba otro ejemplo de observaciones que fueron utilizadas tanto para apoyar el evolucionismo como el fijismo ¿Recuerdan cuál? ¿Indica esto algo acerca de la relación entre pruebas y teorías?*

Comentarios 5a a 5c. El objetivo de este apartado es presentar en su contexto histórico las ideas de Lamarck y Cuvier; por un lado, para permitir la comparación de teorías que se realiza más adelante, y por otro, por la persistencia de ideas alternativas del alumnado que guardan semejanza con las de Lamarck. Esos aspectos de sus teorías fueron superados más adelante, sin embargo, esto, que a veces es lo más tratado en la enseñanza, no debe oscurecer su gran contribución al modelo evolucionista. Todo ello en relación con el creacionismo, sobre el que, como señala Sober (1996), en esa época pudo tener carácter científico y sería anacrónico considerarlo pseudociencia en el siglo XVIII; lo que ha cambiado ahora, indica este filósofo, es que sus hipótesis han sido refutadas, por lo que ya no forma parte de la ciencia. En cuanto a Cuvier, como hace notar Mayr (1998), muchos de sus estudios proporcionaron apoyo empírico a las teorías evolucionistas. Es un ejemplo más de que las observaciones son interpretadas en el marco de una teoría, y de cómo sus prejuicios ideológicos obstaculizaron el papel que hubiese podido jugar.

5a y 5b están encaminadas a la utilización de la idea de órganos homólogos, similar en Owen y Cuvier, como se deduce del resumen de las teorías del segundo. La argumentación que se solicita en b puede ir en la dirección de indicar que la coincidencia en las piezas de la extremidad (u otros órganos) con distinta función se explica mejor por proceder de un antepasado común.

El ejemplo de los fósiles interpretados de distintas formas en 5c muestra que las observaciones se interpretan según las teorías que mantenga cada cual. Un ejemplo sencillo de esto es la interpretación geocéntrica o heliocéntrica del movimiento aparente del Sol.

3. EL MODELO EVOLUCIONISTA DE DARWIN Y WALLACE

Modelo de selección natural de Darwin y Wallace. Alfred Wallace (1823-1913) y Charles Darwin (1809-1882) concibieron ambos independientemente el modelo de selección natural. Los dos habían leído a Malthus (crecimiento de población a mayor ritmo que recursos) y a Lyell, que proporcionaba un marco actualista en el que los cambios se producían a ritmo muy lento. Además, ambos realizaron viajes, Darwin a Sudamérica y Wallace a Malasia, en los que tuvieron oportunidad de observar diferentes especies emparentadas viviendo en lugares próximos. Hoy se considera a Wallace más “darwinista” que Darwin, pues abandonó antes aspectos como el uso y desuso.

Las ideas centrales del modelo de selección natural, aceptado hoy día por la comunidad científica, son:

- la *variabilidad* hereditaria en las poblaciones, lo que hace que distintos individuos se vean favorecidos en unas condiciones o perjudicados en otras.
- el enorme *potencial reproductor* de las especies, en la inmensa mayoría de las cuales sólo una pequeña proporción llega a la edad reproductiva.
- consecuencia de estas dos es la *supervivencia diferencial* (selección natural), debida a las diferencias heredadas.

Trataremos cada una de estas ideas por separado

El modelo de selección natural requiere pensar en términos de *poblaciones*, no de individuos, ya que no se trata de que cambien éstos, sino que la supervivencia de individuos con ciertos caracteres hereditarios y no con otros, lleva a *cambios en la población* (hoy diríamos en las frecuencias de genes, o alelos, en la población). A lo largo de mucho *tiempo*, otra condición crucial: las diferencias entre dos poblaciones originalmente pertenecientes a la misma especie, pueden llegar a ser tan grandes que se conviertan en especies distintas.

Actividad 6. ¿Qué teoría explica mejor las observaciones?

Fenómenos/teorías	Fijismo/ creacionismo	Lamarck Tendencia a perfección	Cuvier Inmutabilidad especies	Darwin-Wallace Selección natural
Distribución biogeográfica				
Fósiles, extinción				
Edad de la Tierra				
Estructuras homólogas				
Adaptación				
Semejanza proteínas/ADN en sp próximas				

Figura 2: Comparación del poder explicativo de cuatro teorías sobre el origen de las especies

La primera columna de la figura 2 representa diferentes fenómenos relacionados con las especies, su origen y su distribución. Algunos ya han sido tratados: los fósiles (y su extinción), la edad de la Tierra y las estructuras y órganos homólogos. La semejanza entre proteínas o bases del ADN en especies próximas puede considerarse un caso especial de homología, y la universalidad del material genético, ADN y del código genético, el mismo para todos los seres vivos, sean bacterias, insectos, plantas o humanos, es quizás la homología más importante. Resulta difícil explicar que todos los seres lo compartan si no es por un origen común, porque descienden de antepasados comunes. Si las distintas especies hubiesen sido creadas separadamente, no sería esperable que compartieran el código genético.

La *biogeografía* se refiere a la distribución de los seres vivos en las distintas regiones del globo. Las plantas y animales de distintos países son muy características (jirafas en África, pandas en China). Una explicación a por qué hay determinadas especies en unos lugares y otras en otros es el clima. Sin embargo, hay lugares, por ejemplo la costa atlántica de Europa y la costa de Nueva Zelanda, que tienen climas semejantes y, a primera

vista, comunidades de seres vivos parecidas. Pero al estudiarlas con atención se encuentran algunas especies comunes y otras totalmente distintas. La distancia constituye otro tipo de barrera para la migración. La observación de especies próximas en lugares que quedan aislados, por ejemplo islas, llegan a ser distintas como los pinzones de las Galápagos, están en la base del modelo de Darwin y Wallace. ¿Por qué en Australia sólo hay marsupiales, como el canguro, y no mamíferos placentarios? Es lógico si lo interpretamos suponiendo que la evolución tomó un camino distinto en África, Eurasia y América (conectadas por el paso de Behring) del de Australia.

Los seres vivos están *adaptados* a su medio; por ejemplo, los peces al agua, tienen forma fusiforme, respiran por branquias, están cubiertos de escamas. Ejemplos de adaptaciones son los mecanismos defensivos de animales o plantas que evitan o dificultan que sean comidos por los depredadores: la concha de los moluscos, las espinas de algunas plantas o sus toxinas que les dan mal sabor o hace que sean venenosas, las coloraciones de camuflaje, por ejemplo, de los peces como rodaballos que se confunden con el fondo del mar. Las teorías fijistas explican la adaptación por el diseño. Para Darwin y Wallace, se trata de que sobreviven mejor los que presentan algún carácter que mejora su adaptación, y dejan más descendientes. Según el ambiente, puede resultar mejor adaptado un carácter (por ejemplo, el pelaje blanco en la nieve) u otro (el pelaje oscuro en un bosque).

6a) Utilizando la tabla de la figura 8 decidan qué teoría explica mejor, de forma incompleta, o no explica en absoluto cada uno de los fenómenos, marcándolo en los cuadros (pueden dejar en blanco los que no tengan claro).

Comentarios 6a. Aunque son frecuentes las referencias a este modelo únicamente como “darwinismo”, cada vez se reconoce en mayor medida la contribución de Alfred Wallace. La evaluación del potencial explicativo de estas cuatro teorías se puede llevar a cabo comparando los fenómenos evolutivos que puede explicar, así como la calidad de la explicación. Una síntesis de esta comparación aparece en la figura 3. Con asterisco se han marcado las explicaciones que hoy día se consideran inadecuadas.

Fenómenos/teorías	Fijismo/ creacionismo	Lamarck Tendencia a perfección	Cuvier Inmutabilidad especies	Darwin-Wallace Selección natural
Distribución biogeográfica	NO	Sí* (uso/desuso)	NO (rasgos esenciales constantes)	Sí (especiación)
Fósiles, extinción	Sí* (prueba del diluvio)	Sí* (sobreviven en otros lugares)	Sí* (relación estratos / fósiles; cataclismos)	Sí (sustitución de especies)
Edad de la Tierra	NO (± 5.000 años)	Sí (requisito “tiempo infinito”)	NO	Sí (requisito de modelo)
Estructuras homólogas	Sí* (diseño inteligente)	NO	Sí* (unidad del tipo)	Sí (divergencia adaptativa)
Adaptación	Sí* (diseño para un fin)	Sí* (dirigida por necesidad)	Sí* (diseño para su lugar natural)	Sí (“pre” adaptación)
Semejanza proteínas/ ADN en sp próximas	NO	NO	NO	Sí (filogenia)

Figura 3. Comparación de la potencia explicativa de cuatro teorías sobre las especies.

Cabe hacer notar que algunas cuestiones, como los fósiles o la adaptación, son explicadas (aunque sea de forma inadecuada) por todas las teorías, mientras que la semejanza

en el ADN y las proteínas sólo puede serlo en el marco de la selección natural, que se trata con más detalle en el apartado siguiente.

4. LA SELECCIÓN NATURAL: MECANISMOS DE CAMBIO

Las ideas centrales del modelo de selección natural de Darwin y Wallace son:

Variabilidad hereditaria en las poblaciones. Los mecanismos de la herencia biológica hacen que no existan dos hermanos (excepto gemelos idénticos) iguales entre sí y que entre los individuos de una especie haya muchas diferencias; por ejemplo, en los humanos, en color de piel, pelo y ojos, grupo sanguíneo, capacidad de percibir sabores u olores, etc. La col, el repollo, las coles de Bruselas y la coliflor pertenecen a la misma especie, y las papas o el maíz presentan muchas variedades de distinto color, tamaño y sabor. Algunas de estas diferencias son visibles y otras no, como el grupo sanguíneo, o la capacidad para soportar calor, frío u otras condiciones ambientales. En muchos países asiáticos y en los Balcanes, la mayoría de los adultos tienen intolerancia a la lactosa, lo que dificulta la digestión de la leche, razón por la que está muy difundido el yogurt.

Excesiva descendencia. La mayoría de los seres vivos tienen un enorme número de descendientes, de los que sólo unos pocos llegan a la edad reproductiva. Las plantas producen cientos o miles de semillas, los peces ponen millones de huevos; por ejemplo, el bacalao, 7 millones. Darwin calculó que en 700 años los descendientes de una pareja de elefantes podrían llegar a 19 millones si todos sobreviviesen. Para animales muy prolíficos, como las ratas, los descendientes de una pareja llegarían a 20 millones en sólo tres años, si todos sobreviviesen (¡por fortuna no es así!). Una hembra de mirlo europeo pone hasta 5 huevos, pero sólo 2 ó 3 de las crías llegan a volar. ¿Por qué no sobreviven todos? Porque no hay suficiente alimento, territorio (o sitio en el nido), porque son comidos por los depredadores. Según Darwin y Wallace, los que sobreviven son los que al nacer presentan alguna característica que les resulta ventajosa.

Supervivencia diferencial. En otras palabras, no es que un individuo cambie para sobrevivir mejor en un ambiente dado, sino que quedan vivos –o tienen más descendientes– los que presentan determinado carácter, es decir aumenta su proporción en la población. El mecanismo propuesto por Darwin y Wallace supone que cambian las poblaciones lentamente, y que en dos ambientes distintos los descendientes de antepasados comunes pueden, con el tiempo, llegar a ser muy diferentes.

Actividad 7. Un ejemplo de selección: malaria y anemia falciforme

La malaria o paludismo causada por el parásito *Plasmodium falciparum* (u otras especies), transmitido a través de mosquitos, afecta a unos 400 millones de personas cada año, matando entre 2 y 3 millones de ellos. El *Plasmodium* se alimenta de la hemoglobina de la sangre y se reproduce en el interior de los glóbulos rojos. En algunas áreas de África y Asia, donde la malaria es endémica, se da una enfermedad hereditaria, la anemia falciforme, debida a un alelo *a* que causa la producción de una hemoglobina diferente (dos de sus cuatro cadenas polipeptídicas, las β llevan valina en lugar de ácido glutámico en la posición 6). Los homocigotos *AA*, sanos, producen hemoglobina normal, los homocigotos *aa* solían morir en la adolescencia (actualmente su esperanza de vida es de 48 años). Sus glóbulos rojos se rompen y su hemoglobina no puede cumplir la función de transportar sangre.

¿Cómo es posible entonces que el alelo *a* tenga una frecuencia que en algunas áreas en las que hay malaria llega a más del 20% de la población? La razón es que los heterocigotos *Aa* son prácticamente inmunes a la malaria, mientras que los homocigotos sanos *AA*

tienen muchas probabilidades de contraerla. Los heterocigotos producen los dos tipos de hemoglobina, lo que les permite llevar una vida normal, pues sólo tienen problemas si realizan ejercicio físico de mucho esfuerzo. Pero la hemoglobina falciforme dificulta la vida y reproducción del parásito. Este tipo de selección que mantiene la diversidad genética (o polimorfismo) en la población se conoce como equilibradora. En países donde parte de la población tiene origen africano hay una cierta proporción del alelo *a*; por ejemplo, en Cuba, un 3% en el conjunto de la población.

7a) *¿Pueden explicar el mecanismo por el que partiendo de dos poblaciones con la misma proporción del alelo *a* en una zona con malaria llega a haber más del 20 % y en una sin malaria llega a desaparecer?*

7b) *La mayoría de los pollitos de las gallinas de granja son de color amarillo o blanquecino. Las crías de aves de la misma familia que viven en libertad son pardas, moteadas y manchadas (color de camuflaje). Teniendo en cuenta que todos tienen los mismos antepasados, ¿cómo explicarían Darwin y Wallace que los de granja tengan color amarillo o claro? ¿Cómo lo explicaría Lamarck?*

Comentarios a7. El objetivo es aplicar el modelo de selección natural, las ideas clave expuestas y que se resumen en forma de mapa conceptual en la figura 4. Estas ideas suscitan problemas de aprendizaje: *variabilidad frente a uniformidad*. El alumnado ve como explicación posible que los individuos se transformen al no comprender que puede haber algunos que ya posean determinada característica (un color, resistencia, etc.). Aunque conocen las diferencias intraespecíficas, entienden la herencia como un mecanismo que conserva semejanzas, no *diferencias*. Recordemos la polémica entre los modelos clásico (mayoría de loci con homocigosis) y equilibrado (heterocigosis en gran número de loci). *Excesiva descendencia*: requisito para la supervivencia diferencial (si todos sobreviven, las proporciones se mantienen estables). La experiencia cotidiana –especie humana, animales domésticos– lleva a tener por normal que sobrevivan todas las crías. *Supervivencia diferencial*: es la idea clave para comprender la selección natural, pero está mucho más extendida la creencia en cambios individuales y graduales, “cada vez” “un poco más” (resistentes, oscuros etc.). *Cambios en la población*: alteraciones en las proporciones de diferentes genotipos. Probablemente una de las razones para interpretar las transformaciones como cambios individuales tiene que ver con las dificultades para conceptualizar procesos que, a escala de la vida humana, resultan imperceptibles.

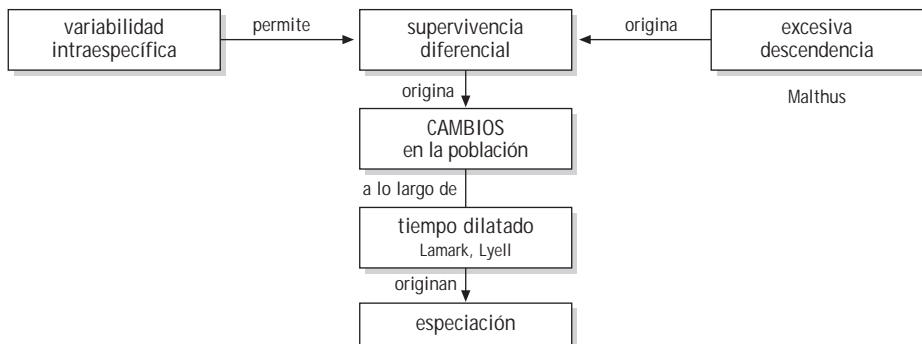


Figura 4. Mapa conceptual que sintetiza algunas ideas centrales del modelo de selección natural de Darwin y Wallace.

7a Pretende favorecer que el alumnado aplique el modelo de selección natural a un caso concreto. Partiendo de dos poblaciones iguales, en la zona con malaria sobrevivirían más heterocigotos Aa que en la zona sin malaria. Permite poner de manifiesto que un alelo o un carácter puede conferir ventaja o desventaja según el ambiente.

7b La experiencia muestra que es más difícil interpretar un caso en el que no se aprecia la ventaja (el color amarillo) que explicar el camuflaje. Es probable que una parte del alumnado lo explique por el color del alimento (maíz amarillo) o por influencia del color del ambiente (paja amarilla), lo que no tendría sentido, pues en la granja no ofrece ventaja camuflarse de posibles depredadores. Precisamente esa ausencia de depredadores y la disponibilidad de alimento es lo que permite que sobrevivan pollitos de colores claros y lisos que en el campo serían demasiado visibles. Animales con este carácter llegan a tener descendientes, y así la población en las granjas llega a tener una alta proporción de esos colores. Una vez más no cambian los individuos, sino las poblaciones en sucesivas generaciones. Se pide al alumnado que lo explique como lo haría Lamarck, porque es importante que tomen conciencia de que unos mismos datos pueden interpretarse con distintos marcos teóricos, que distingan entre las dos explicaciones.

Actividad 8. Los escarabajos - cuentas

Material para cada equipo:

- Un cuadrado de tela estampada (por ejemplo, un pañuelo bandana mexicano).
- Cuentas de vidrio pequeñas (de bordar) de dos colores, uno igual al fondo de la tela.

Los escarabajos-cuentas viven en prados floridos, se alimentan de polen y son comidos por pájaros, que devoran cada año la mitad de la población. Los escarabajos-cuentas se reproducen sexualmente una vez al año, en junio, produciendo cada pareja dos crías. Simularemos cuatro generaciones y sus ciclos de predación y reproducción.

Paso 1: Cuenten 20 cuentas azules y 20 rojas y échenlas al azar sobre el prado: 40 escarabajos.

Paso 2: Dos personas hacen de pájaros, que vuelan sobre el prado, capturando un escarabajo cada vez. Cada uno tiene que tomar los primeros 10 que vea en el menor tiempo posible.

Paso 3: Cuenten los escarabajos que quedan de cada color (anótenlos para compararlos con los de la clase). Para cada par añadan dos del mismo color (si hay uno impar, no se reproduce).

Paso 4: Repitan los pasos 2 y 3 tres veces más.

8a) *¿Cuántos quedan de cada color? ¿Qué color otorga una ventaja reproductiva? Explíqueno y diseñen una prueba para comprobar su explicación.*

Comentarios 8a. Las simulaciones como ésta, adaptada de Bishop y Anderson (1986), facilitan la comprensión de ideas clave: que los “escarabajos” individuales no cambiaron, sino que lo han hecho las proporciones en la población. Si se ha utilizado, por ejemplo, tela azul, repetir el proceso usando tela roja –un ejemplo de la prueba que podrían diseñar los estudiantes– ofrece unos resultados opuestos.

Una vez que se han discutido las principales ideas del modelo de selección natural, y que el alumnado ha tenido ocasión de aplicarlas, puede decirse que disponen de una herramienta conceptual que permite abordar el problema de los insecticidas

planteado en 1a, interpretarlo en el marco del modelo de Darwin y Wallace y conceptualizarlo como un ejemplo de cambio biológico, de evolución que se da en la actualidad.

5. ¿PUEDE PROBARSE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN?

Actividad 9. Explicación de la resistencia según la selección natural

Lean de nuevo el problema planteado en la actividad 1. ¿Cómo explican ahora que los insecticidas matasen a la mayoría de los insectos hace años y ahora no?

Comentarios 9a. Es probable que, tras el trabajo con la herramienta conceptual que supone el modelo de Darwin y Wallace, una parte del alumnado sea capaz de explicarlo de forma acorde con él: algunos insectos eran portadores de un gen que los hacía resistentes (variabilidad) y, al estar expuestos al insecticida, estos resistentes son los únicos que quedan vivos (supervivencia diferencial). Por ello, son los que dejan más descendientes en la siguiente generación, pues al haber muerto los no resistentes no hay competencia por el alimento o el territorio. Sin embargo, la experiencia muestra que, a pesar del trabajo en el aula, seguirá habiendo una parte del alumnado que volverá a dar una explicación basada en que los insectos se “han acostumbrado” al insecticida, es decir en la idea de los cambios individuales y graduales. Por eso es importante volver a discutir el ejemplo explícitamente, así como en las actividades siguientes.

Actividad 10. ¿La resistencia se desarrolla igual en todos los insectos?

La resistencia no se desarrolla con la misma rapidez en todos los casos. Lean el siguiente párrafo de un trabajo de los investigadores mexicanos Adriana Flores, Mohammad Badii y Gustavo Ponce, en el que explican las diferencias entre el caso del mosquito, la vinchuca (o chinche triatomina), que transmite la enfermedad de Chagas, y la mosca tsé-tsé. *¿Pueden explicar qué importancia tiene en el desarrollo de la resistencia que la mosca tsé-tsé tenga pocas crías?*

“El número de poblaciones de insectos vectores resistentes es dependiente del volumen y frecuencia de aplicación de insecticidas utilizados para su control, además de las características inherentes de las especies involucradas. La mosca tsé-tsé por ejemplo, fue controlada de manera exitosa con rociados de DDT por muchos años, mas sin embargo, nunca se desarrolló resistencia a este insecticida. Otro ejemplo de un insecto vector exhibiendo poca o nula resistencia a insecticidas es la chinche triatomina. En ambos casos podría explicarse en particular debido al ciclo de vida largo de las chinches y la producción de pocos juveniles [crías] de mosca tsé-tsé. En contraste, los mosquitos tienen todas las características requeridas para un rápido desarrollo de resistencia, incluyendo ciclos de vida corto y alta fecundidad” (Flores, Badii y Ponce, 2001).

Comentarios a10. Se trata de una actividad opcional que el docente puede decidir realizar o no, dependiendo de factores como la edad del alumnado o el tiempo disponible. Su objetivo es poner de manifiesto la complejidad de estos procesos de cambio, así como la interacción entre las distintas dimensiones (variabilidad, descendencia numerosa, supervivencia diferencial). Si el número de crías es pequeño, como ocurre en la mosca tsé-tsé, la frecuencia de las supervivientes en relación con las nacidas es mayor, y por tanto el ritmo de cambio en la población más lento, pues el

que sobrevivan todos (o la mayoría de) los descendientes de las resistentes, al ser un número pequeño, no hará cambiar las proporciones de resistentes/no resistentes de la población de forma inmediata.

Actividad 11. Pruebas de la evolución

El desarrollo de las resistencias a insecticidas puede ser considerado como uno de los datos que prueban la teoría de la evolución; dicho de otra forma: un ejemplo de *cambio* en los seres vivos que se explica mejor con el modelo evolucionista de Darwin y Wallace que con ningún otro. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, a diferencia de teorías en otros campos científicos como la física que pueden ser probadas mediante experimentos, no ocurre lo mismo con la explicación evolucionista. Por una parte, las explicaciones de fenómenos ocurridos en el pasado, como puede ser la extinción de los dinosaurios, difícilmente puede ser “probada”, en el sentido de que es un suceso único, irrepetible. Por otro lado, es imposible “observar” directamente o realizar experimentos en el laboratorio sobre la mayoría de los fenómenos evolutivos. Esto no significa que la teoría de la evolución (u otras que son reconstrucciones históricas) sea menos “científica”, sino que sus métodos son distintos, y las pruebas que la apoyan, de carácter indirecto en muchos casos.

Además de ejemplos de cambio biológico en la actualidad, otras pruebas o datos que apoyan la teoría de la evolución son el *registro fósil*, la *distribución biogeográfica* de animales y plantas. Por ejemplo, Darwin observó que las especies de un lugar determinado de Sudamérica se parecían más a otras especies americanas que a las europeas; los dinosaurios africanos y americanos de épocas anteriores a la separación de ambos continentes son similares, mientras que los posteriores a la separación son diferentes; la *embriología*, que muestra semejanzas entre los embriones de especies próximas, o las *homologías* a las que ya nos hemos referido. La existencia de un código genético universal, es decir que la misma “palabra” o triplete de bases del ADN codifique el mismo aminoácido en todos los seres vivos, es algo difícilmente explicable por un modelo distinto al evolucionista.

11a) ¿Por qué se extinguieron los dinosaurios?

A lo largo del siglo XX llegó a haber más de 40 hipótesis sobre las razones de la desaparición de estos animales, dominantes en la Tierra durante 150 millones de años. Latinoamérica, especialmente Argentina, es muy rica en fósiles o huellas de dinosaurios. Hace 65 millones de años, en el Cretácico, hubo una gran extinción en la que desaparecieron, junto con los dinosaurios, el 75% de las especies de plantas y animales. Algunas de estas hipótesis (Anguita, 1989) son:

- Cambios en la Tierra o el Sol; por ejemplo, cambios en la posición del eje de la Tierra que producirían un cambio climático o alteraciones en las manchas solares.
- Enfermedad: cataratas en los ojos, causadas por la elevación de temperatura, que originarían ceguera, imposibilidad de buscar alimento y muerte.
- Envenenamiento: por el agua o por algunas plantas que comían.
- Cambios en las especies: aumento del número de dinosaurios carnívoros que acabarían con los herbívoros (quedando sin alimento), o aparición de los mamíferos (muy pequeños) que devorarían sus huevos.
- Erupción volcánica: originaría una nube de polvo volcánico, oscureciendo la luz solar y cambiando la composición de la atmósfera. Desaparecería gran parte de la vegetación por falta de luz, y morirían muchos animales por falta de alimento.

- Impacto de un meteorito o asteroide que originaría incendios, tormentas, nubes de polvo meteorítico, oscurecimiento de la luz solar, frío, y las mismas consecuencias para vegetación y animales que la anterior.

En los años ochenta, la paleontología aportó datos que permitieron descartar muchas de esas hipótesis, quedando reducida la polémica a las dos últimas, que coinciden en el papel del oscurecimiento, diferenciándose en el origen. En 1980, el equipo de Walter Álvarez encontró niveles anormales de iridio (metal muy raro que suele proceder de meteoritos) en sedimentos de hace 65 millones de años, primero en Italia y después en múltiples lugares y países, y se emprendió la búsqueda de un cráter de gran tamaño que correspondiese a un meteorito capaz de causar efectos a escala de toda la Tierra. Diez años después, en México, en la península de Yucatán, se localizó un cráter de 175 km de diámetro de una antigüedad de 65 millones de años.

Expliquen qué importancia tiene que hubiera niveles altos de iridio en muchos países. ¿Apoyaría la hipótesis del meteorito que sólo los hubiese en uno? ¿Es posible probar esta hipótesis con experimentos? ¿Qué importancia tiene la edad de los sedimentos con iridio? ¿puede aparecer en el futuro otra hipótesis mejor?

11b) En Nueva Zelanda, como en Australia, hay mamíferos marsupiales (en los que las crías pasan la última parte del desarrollo en una bolsa o marsupio), y no mamíferos placentarios (las hembras poseen placenta, lo que permite el desarrollo completo del embrión en el interior del útero). Hay, sin embargo, una excepción: los murciélagos.

¿Pueden proponer alguna explicación a la ausencia de mamíferos placentarios en Nueva Zelanda? ¿A qué tipo de pruebas de la evolución corresponde? ¿Pueden proponer una explicación a la presencia de murciélagos?

11c) Se llaman órganos vestigiales a los que, en algunas especies, no llegan a desarrollarse para cumplir una función, interpretándose como un vestigio (huella o recuerdo) de un órgano existente en los antepasados. Un ejemplo es la cola en el embrión humano; otro, las extremidades posteriores atrofiadas en las ballenas.

¿Pueden poner algún otro ejemplo de órgano vestigial? ¿A qué tipo de pruebas de la evolución corresponde?

Comentarios a 11. El modelo de evolución por selección natural presenta algunos rasgos *metodológicos* que son específicos de la construcción del conocimiento biológico (y geológico), pero que difieren de los utilizados por ejemplo en física, lo que llevó a contemporáneos como Kelvin a poner en duda su carácter científico. Uno de estos rasgos metodológicos es la *reconstrucción histórica*: la investigación sobre evolución persigue reconstruir el orden de sucesos y fenómenos irrepetibles ocurridos en el pasado, así como elaborar modelos explicativos de las pautas identificadas en ellos. Aunque no sea posible “probar” que una explicación histórica es “cierta”, su aceptación se produce cuando las pruebas disponibles la apoyan. Otro es la *naturalidad de las pruebas*: es imposible realizar experimentos sobre la mayor parte de los fenómenos evolutivos, ni puede ser *observada* directamente.

11a. Pretende mostrar la aplicación de estas metodologías en un caso que resulta muy motivador para el alumnado. Si en la localidad hubiese algún museo (o yacimiento) paleontológico sería deseable realizar una visita. Los estudiantes discutirán cómo si la presencia de iridio estuviese localizada en un país indicaría el impacto de un meteorito pequeño, no de uno capaz de producir una nube que oscurezca la luz del

Sol. Lo mismo ocurre con la edad de los sedimentos (y del cráter), coinciden con la extinción de los dinosaurios. Es importante, finalmente, dejar claro que ésta no es la teoría “definitiva”, sino la mejor de las disponibles.

11b y 11 c. Son ejemplos de pruebas indirectas, la primera de tipo biogeográfico, la segunda embriológico. La explicación de la ausencia de placentarios en Nueva Zelanda es la misma que la indicada para Australia en a6: los murciélagos, a diferencia de otros mamíferos, pueden volar y desplazarse a mayores distancias. En cuanto a otros órganos vestigiales, un ejemplo es el apéndice en los seres humanos, otro, los ojos atrofiados en animales que viven en cuevas.

6. LA EVOLUCIÓN HUMANA

Éste fue el aspecto en el que las ideas evolucionistas encontraron mayor resistencia, pues a los seres humanos les costaba trabajo admitir que no eran una especie creada aparte, sino emparentada con el resto de los animales y con el resto de los seres vivos. La polémica fue muy grande, y los que se oponían a la evolución acusaban a los evolucionistas de decir que el ser humano descendía del mono, haciéndose famosa una caricatura de Darwin que lo representaba con rasgos de simio. Por supuesto que los evolucionistas nunca sostuvieron que el ser humano descienda de los monos actuales, sino que ambos tienen antepasados comunes.

No tenemos la misma relación de parentesco con todos los primates (orden de mamíferos al que pertenece el ser humano). Para determinar cuáles son más cercanos se utilizan datos anatómicos, por ejemplo, compartimos con chimpancé, gorila y orangután (los grandes simios antropomorfos) características como la ausencia de cola, el tipo de muelas o la posición de los omóplatos. Una forma de estimar el grado de parentesco es el análisis citológico y molecular; así, por ejemplo, el ser humano tiene 23 pares de cromosomas, y chimpancés y gorilas 24 pares. Al descifrarse el genoma humano en 2001, se ha comprobado que de los 30.000 genes que tenemos, compartimos un 99,4% con los chimpancés. Aún más preciso es el llamado *reloj molecular*: el análisis de proteínas como hemoglobina, mioglobina o fibrinopéptidos ha permitido comprobar la correlación entre las diferencias en el número de aminoácidos y el parentesco entre las distintas especies. Un ejemplo, para la cadena de la hemoglobina, que tiene 141 aminoácidos (a.a), se representa en la figura 5.

diferencias entre el ser humano y	Nº de a.a. distintos
chimpancé	0
gorila	1
monos japoneses	4
cerdo	20
perro	23
caballo	26
rana	62

Figura 5. Número de aminoácidos distintos entre el ser humano y otras especies.

Otras proteínas, como el citocromo C o los fibrinopéptidos, son idénticas en ser humano, chimpancé y gorila; la mioglobina difiere en un solo aminoácido. Basándose en estos y otros datos, la representación de parentesco entre los tres podría representarse en el diagrama de la figura 6 (y nunca gorila → chimpancé → seres humanos).

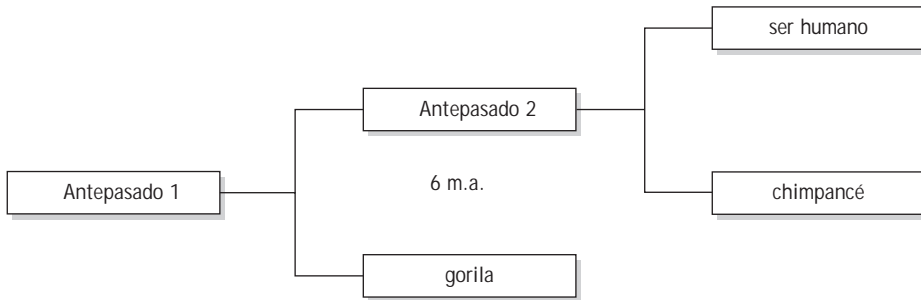


Figura 6. Relaciones filogenéticas entre ser humano, chimpancé y gorila.

Los seres humanos y los chimpancés comparten muchas características biológicas. ¿Cuáles son las principales diferencias? En primer lugar, la *marcha bípeda*, caminar sólo sobre las dos extremidades posteriores. Nuestros antepasados hace 4 m.a., los australopithecus, caminaban sobre dos pies, aunque parece que no disponían de *lenguaje*, que requiere el desarrollo tanto de ciertas áreas del cerebro como de un aparato fonador en faringe y laringe. Otras diferencias, además de marcha bípeda y lenguaje articulado, son la mayor capacidad craneana, el pie no prensil, el desarrollo infantil más largo y menores diferencias de tamaño entre los dos sexos, un 10% en vez del 30%.

En cuanto a los antepasados más directos de los seres humanos actuales (*Homo sapiens*), los descubrimientos de fósiles en las últimas décadas están permitiendo la reconstrucción de su árbol genealógico, representado en la figura 7. Uno de los yacimientos que ha proporcionado nuevos datos es el de Atapuerca, en España, pues en él se ha encontrado lo que se considera una nueva especie: *Homo antecessor* (Bermúdez et al., 2004), que resulta importante en la polémica sobre el origen único o múltiple de los humanos actuales.

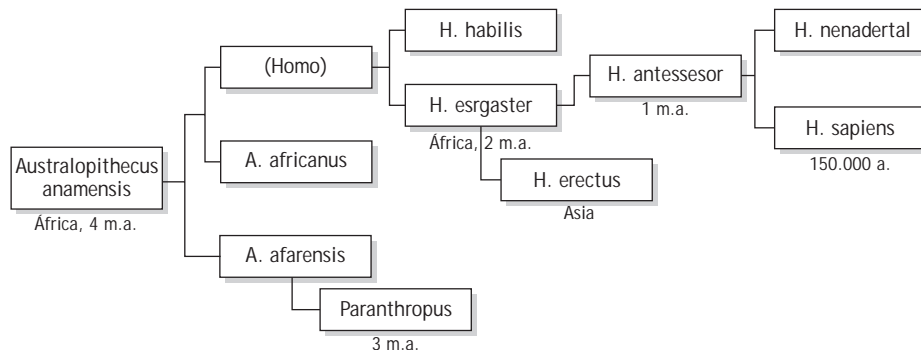


Figura 7. Los homínidos fósiles y el ser humano (Según Bermúdez et al, 2004, modificado).

Actividad 12. ¿Existe el “eslabón perdido”?

Desde la publicación de las teorías de Darwin y Wallace hasta principios del siglo XX se hablaba de encontrar un “eslabón perdido” intermedio entre el hombre y los monos, y muchos suponían que debería tener un aspecto más “humano” y menos “simiesco”. Cuando Raymond Dart descubrió, en 1925, el *Australopithecus africanus* y afirmó que se trataba de un antepasado del ser humano, pocos le creyeron (Arsuaga, 2002), pues se parecía demasiado a un mono. Se suponía en esa época que la inteligencia y el lenguaje habían precedido a la marcha bípeda, mientras que, por lo que podemos deducir de los homínidos fósiles, fue al contrario.

12a) Según los diagramas de las figuras 17 y 18, ¿creen que hay un “eslabón perdido” entre el ser humano actual y los simios antropomorfos como chimpancé o gorila?

12b) ¿Puede decirse que todos los homínidos fósiles cuyos nombres aparecen en la figura 7 son antepasados del ser humano? ¿Si no son todos, cuáles? ¿Es el hombre de Neandertal antepasado nuestro? Justifiquen las respuestas.

En los ochenta, dos teorías rivalizaban en explicar los fósiles del género *Homo*, en especial cómo de un solo género habían surgido tres variantes: la multirregional y la de la Eva Negra. Según la multirregional, los *Homo erectus* originarían las poblaciones asiáticas y americanas o “amarillos”; los Neandertales, las caucásicas o “blancos”, y los fósiles africanos, las poblaciones de raza negra, y sus relaciones habrían impedido que se formasen especies distintas. Según la hipótesis de la Eva Negra, habría tres especies separadas, y los *Homo sapiens* (aparecidos en África) habrían sustituido a las otras dos. Ambas hipótesis suponen que los primeros homínidos aparecieron en África, y la segunda, que todos los humanos actuales procedemos de antepasados africanos que salieron de África en una segunda migración.

12c) ¿Por qué se dice que el descubrimiento de *H. antecessor* en Atapuerca apoya la hipótesis de Eva Negra?

Comentarios a 12. Las actividades pretenden incidir en una confusión frecuente: identificar como antepasados de los humanos a todos los homínidos fósiles. Igual que en otros organismos, hay muchos de estos fósiles que corresponden a géneros o especies que se extinguieron, ya que la evolución de un grupo es más parecida a un “árbol” que a una serie lineal. No hay un “eslabón perdido” (12a), ya que seres humanos y monos presentan especializaciones muy distintas, lo que hay son antepasados comunes, en plural (uno o varios con los gorilas, y otro u otros más con los chimpancés). Por una razón semejante, sólo los homínidos marcados con trama son antepasados nuestros (12b), los otros son ramas colaterales que se extinguieron. Los Neandertales son parientes del ser humano actual, no antepasados.

En cuanto a 12c, es una actividad opcional, que puede realizarse o no. El *H. antecessor* (forma intermedia entre *H. ergaster* y *H. sapiens*) es también antepasado de los Neandertales, mostrando que no hubo intercambios entre estos y el *H. erectus* que contribuyesen a originar los humanos actuales.

Actividad 13. ¿Por qué hemos perdido olfato?

La secuencia del genoma humano, en 2001, ha deparado algunas sorpresas. Por ejemplo, las diferencias en el número de genes entre el ser humano (unos 30.000, no los 100.000 previstos) y un gusano (20.000) no es tan grande como se creía. Otra es la gran cantidad de ADN (llamado “basura”) que no codifica proteínas, sino que, tras copiarse una y otra vez y experimentar mutaciones, queda inutilizado. Así, para el olfato:

“(nuestros) antepasados usaban alrededor de 1.000 genes en relación con el olfato. Pero en los últimos 10 millones de años, alrededor de 600 de esos genes de los receptores olfativos se han perdido. El genoma humano indica que nuestro sentido del olfato ha disminuido. Normalmente, cuando un gen no se necesita es rápidamente destruido al copiar errores” (Mark Ridley, TLS, 19 octubre 2001).

¿Cómo explican ese cambio en los genes del olfato?

Comentarios a 13. Pretende aplicar una vez más el modelo de selección natural. Un olfato fino tendría gran valor adaptativo para la vida en la naturaleza, dependiendo de él la búsqueda de alimento, la caza o la huida de los depredadores. Al vivir en sociedad y a medida que los humanos se hacen agricultores y ganaderos, su valor para la supervivencia se pierde, por lo que sobrevivirían igual los que tuviesen olfato bueno o malo.

Un excelente recurso para trabajar la evolución humana es la página web sobre Atapuerca (www.ucm.es/info/paleo/ata/) de la Universidad Complutense de Madrid.

7. EVOLUCIÓN Y MEDIO AMBIENTE: LA RESISTENCIA A INSECTICIDAS Y ANTIBIÓTICOS

Hemos tratado en esta unidad los problemas causados por la resistencia a los insecticidas, pero *¿cómo enfrentarse a ellos?*

Entre las sugerencias se cuentan la sustitución de un insecticida A inefectivo por otro B más efectivo, pero esto sólo soluciona el problema temporalmente, hasta que se incrementa en la población la resistencia a B, ya que la exposición prolongada a B llevará a que sobrevivan únicamente los resistentes. Otro método es el uso de mezclas de dos insecticidas de acción independiente, o la alternancia (rotación) de insecticidas, de forma que mientras se usa uno disminuye la resistencia al otro. Lo que no debe hacerse es aumentar la dosis o la frecuencia de aplicación indicadas en la etiqueta, pues pueden causarse daños a la salud de las personas, sin conseguir mejores resultados.

En todo caso, lo importante es la *prevención*; es decir, no usar un solo insecticida y esperar a la aparición de resistencia, sino utilizar sistemáticamente mezclas y rotación, lo que retarda el desarrollo de resistentes.

Un mecanismo semejante a la resistencia a insecticidas en los insectos es la resistencia a los antibióticos en bacterias. En este caso, el problema se agrava por la enorme cantidad de descendientes y la rápida sucesión de generaciones, que hacen mucho más rápido el ritmo del cambio biológico. Además, las bacterias pueden intercambiarse material genético (por ejemplo, de resistencia a antibióticos), con lo que las resistencias se amplifican. Las prácticas inadecuadas en el uso de antibióticos, por ejemplo utilizarlos sin receta, para dolencias menores, o para enfermedades causadas por virus (para las que no son efectivas) y sobre todo su uso para engordar el ganado (casi la mitad de los antibióticos producidos en países desarrollados tienen este fin), son responsables de una parte de la difusión de las resistencias. Por ejemplo, la tuberculosis ha pasado de considerarse controlada a constituir una amenaza a escala mundial.

Una cuestión especialmente preocupante es la introducción en cultivos transgénicos de genes que codifican proteínas de acción insecticida, como un gen de la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis* (Bt). Como señala Riechmann (2000), igual que el uso externo

de insecticidas ha hecho aumentar las resistencias, lo mismo puede ocurrir al introducir el insecticida en la propia planta, ya que por selección natural sobrevivirán los que poseen defensas naturales, desarrollándose cada vez más cepas resistentes. También es causa de preocupación la introducción en las plantas de genes que inducen resistencia a antibióticos, en este caso sólo como marcadores, es decir para facilitar el proceso tecnológico de manipulación genética. Las resistencias a antibióticos son causa de muchas muertes cada año, por lo que esta práctica conlleva graves riesgos y debe ser sustituida por el uso de otro tipo de marcadores.

Actividad 14. Recapitulación

14a) *La moda de introducir agentes antibacterianos en jabones, detergentes y otros productos de uso doméstico, ¿favorece o previene el desarrollo de cepas resistentes?*

14b) "El microbio que provoca la tuberculosis contraataca cuando la mayoría de los países industrializados creían derrotada la enfermedad. El *Mycobacterium tuberculosis*, que fue una plaga a principios de siglo, vuelve reforzado por el aprendizaje de décadas en contacto con antibióticos. Este desembarco de cepas resistentes a un extenso arsenal de medicinas preocupa a los investigadores" (diario *El País*, 5-10-1992).

Analicen esta noticia: ¿Es correcto decir que la bacteria vuelve reforzada por el aprendizaje de décadas en contacto con antibióticos? ¿Cómo lo explicarían?

Comentarios a 14 y recapitulación. El objetivo es aplicar el modelo aprendido en insectos a las resistencias a antibióticos. (14 a) Igual que en otros casos, la introducción de agentes antibacterianos favorece el desarrollo de cepas resistentes a ellos. Hay que aceptar a las bacterias como parte de nuestro medio; en una flora bacteriana normal, la proporción de resistentes es mínima, pero el uso de antibacterianos y antibióticos ejerce una presión selectiva que lleva al aumento de su proporción.

El análisis de noticias de prensa, como la de 14b, puede ser productivo tanto para discutir la frecuencia de las interpretaciones antropomórficas y "lamarckistas" como para poner de manifiesto que la selección natural no es cosa del pasado y que tiene grandes implicaciones sociales.

Cada docente puede organizar las actividades de la propuesta del modo que crea más conveniente, no necesariamente en la secuencia en la que aquí se presentan. Una posibilidad es también proponer la primera actividad al alumnado y proporcionarles los materiales como "documentación", de forma que vayan construyendo sus respuestas bajo la dirección del profesor o profesora.

Agradecimientos: El trabajo de conceptos y modelos con problemas auténticos forma parte del proyecto financiado por el MCYT, código BSO2002-04073-C02-02, parcialmente financiado con fondos FEDER. La propuesta didáctica ha sido elaborada expresamente para este libro.

Referencias bibliográficas en este programa de actividades

- ANGUITA, F. (1989). *Los últimos dinosaurios*. Madrid: S M.
- ARSUAGA, J. L. (2002). Veritas Praevalebit. El hombre y el mono. *Ars Medica. Revista de Humanidades Médicas*, 1, 24-34. (Versión electrónica disponible en la web).
- BERMÚDEZ DE CASTRO, J. M. et al. (2004). *Hijos de un tiempo perdido*. Barcelona: Crítica.
- BISHOP, B. y ANDERSON, C. (1986). Evolution by Natural Selection: a teaching module. Occasional paper 91, Institute for Research on Teaching, Michigan State University.
- DUSCHL, R. A. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias: la importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid: Narcea.
- FLORES, A., BADI, M. y PONCE, G. (2001). Resistencia a insecticidas en insectos vectores de enfermedades, con énfasis en mosquitos. *RESPYN*, 2 (4). (Versión electrónica disponible en la web).
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (1991). Cambiando las ideas sobre el cambio biológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), 248-256.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (2003). El aprendizaje de las ciencias: construir y usar herramientas. En Jiménez (Coord.), *Enseñar Ciencias*. Barcelona: Graó.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (2004). El modelo de evolución de Darwin y Wallace en la enseñanza de la Biología. *Alambique* 42 (en prensa).
- MAYR, E. (1998). *Historia do pensamento biológico. Diversidade, evolução, herdança*. Santiago de Compostela: Servicio de Publicacións da Universidade de Santiago.
- RIECHMANN, J. (2000). *Cultivos y alimentos transgénicos. Una guía crítica*. Madrid: Los libros de la Catarata.
- SOBER, E. (1996). *Filosofía de la Biología*. Madrid: Alianza.

Otras Voces

Captando Información

Valentín Gavidia, M^a José Rodes, Fernando Tejerina, Enrique Guillén, Ascensio Carratalá y Julia Sanz

Comentario preliminar. Éste es uno de los temas fundamentales sobre el cuerpo humano, por lo que forma parte de los estudios básicos del alumnado, de manera que es posible que muchos de los conceptos que se examinan en este capítulo hayan sido introducidos con anterioridad. No obstante, aquí se presentan con mayor detenimiento y desde nuevas perspectivas, como son:

- a) la bioquímica, necesaria para entender la universalidad del impulso nervioso;
- b) la de explorar las diferentes soluciones que la naturaleza ofrece al problema de la recepción de estímulos, contribuyendo a una mejor comprensión de la evolución animal;
- c) la de considerar pautas higiénicas en función de los conocimientos de anatomía y fisiología adquiridos, de manera que faciliten la adopción de conductas saludables.

De esta forma, no se pone el énfasis en la anatomía de los órganos de los sentidos, por ser algo que se considera ya sabido por los alumnos, y sólo se recuerdan aquellos elementos que resultan indispensables para dar paso a otros aspectos de mayor interés en este nivel de conocimientos del alumnado.

El posible atractivo para el profesorado en un tema como el presente radica en el hecho de poder presentarlo en el aula, no desde un punto de vista descriptivo-tradicional, sino de forma que se sugieran búsquedas e interpretaciones que puedan llevar a los estudiantes a emitir hipótesis explicativas y luego tratar de contrastarlas.

INTRODUCCIÓN

El conjunto de los sentidos forma un mundo apasionante y complejo por el que el hombre ha sentido fascinación desde la antigüedad. Así, ya los filósofos griegos del siglo VI a.C. distinguían entre razón y sentidos, y Heráclito expresaba que “el conocimiento llega al hombre a través de la puerta de los sentidos”; esto es, los órganos de los sentidos, formados por diferentes estructuras, recogen impresiones que luego trasladan al cerebro.

Lo especial del *Homo sapiens*, que lo hace diferente del resto de las especies, se concentra en el cerebro, y su principal característica es la capacidad de aprender. Esto es posible por la información que le llega y por sus enormes posibilidades de asociación.

Pero... ¿Todos los seres vivos poseemos los mismos órganos de los sentidos por donde entran los mensajes? ¿Todos vemos igual, con los mismos colores, apreciamos los mismos sabores, distinguimos los mismos sonidos?

¿Son importantes los sentidos para el mantenimiento y evolución de la vida sobre la Tierra?

A realizar una aproximación a este mundo de los sentidos vamos a dedicar nuestra atención.

A.1. Importancia de la función de relación

Los seres vivos presentan una gran complejidad, un alto grado de organización y una variedad asombrosa. Para su existencia y manifestación realizan tres funciones vitales: nutrición, reproducción y relación.

Mediante la nutrición extraen y transforman la energía de su entorno para edificar y mantener sus propias estructuras, moverse y realizar trabajos.

Gracias a la reproducción consiguen multiplicarse y su información genética se perpetúa en el tiempo, aunque mantienen la capacidad de sufrir alteraciones que les permiten adaptarse a las exigencias de un entorno cambiante.

La tercera función es la de relación a la que vamos a prestar nuestra atención. Para empezar el estudio podemos hacernos las siguientes preguntas:

¿En qué consiste la función de relación?

¿Qué importancia tiene en los seres vivos y por qué es necesaria?

¿Qué órganos o estructuras intervienen en su actividad?

Si construyéramos un ser vivo de nuestra invención, ¿cómo diseñarías su capacidad de relacionarse con el exterior?, ¿qué órganos de los sentidos le otorgarías?, ¿dónde los ubicarías?

Comentarios A.1. La función de relación es una de las tres funciones vitales que realizan los seres vivos, por medio de la cual son capaces de recibir estímulos, tanto del exterior como del interior del organismo, y reaccionar frente a ellos. En su realización intervienen los órganos de los sentidos, el sistema nervioso y el sistema hormonal.

Cuando se comenta la importancia de esta función se observa que sin ella es imposible la vida, pero la discusión puede derivar con facilidad hacia la especie humana señalando que es precisamente esta función de relación la que nos diferencia del resto de seres vivos: la forma en la que procesamos e integramos la información ha dado lugar a nuestra evolución cultural.

Comprender la función de relación requiere tener en cuenta aspectos que han ido conformando las características de nuestra especie, que responden a nuestro afán de comunicarnos, de comprender el mundo que nos rodea y a nosotros mismos.

Sin los órganos de los sentidos ello no sería posible, ya que son las ventanas por donde entra la información que debemos procesar. Sin ellos no podríamos saborear los alimentos, ni comunicarnos con los demás, ni huir del enemigo o percibir el agua de lluvia. Perderíamos la capacidad de recibir las señales externas que nos advierten de los peligros y seríamos más vulnerables, pero también la posibilidad de desarrollar nuestra sensibilidad y disfrutar de todo aquello que nos rodea.

Pero esto no es todo, ya que también recibimos avisos del interior de nuestro cuerpo. Sabemos que algo no funciona bien en el estómago porque nos duele, que el corazón late más deprisa cuando corremos, que las amígdalas están inflamadas y nos cuesta tragar, etc. Esto es posible porque poseemos receptores internos que nos transmiten cierta información del estado general de nuestro organismo.

La actividad de construir un ser vivo imaginario se presta al debate pues son muchas las variables a tener en cuenta: tamaño, lugar donde habita, forma de vida, etc. Ello condiciona la ubicación de los órganos de los sentidos y su concreción y definición permite elaborar un posible organismo viable. Podemos hacer el ejercicio de partir de algunos de los animales ya existentes y hacer una prospección sobre su posible evolución (Dixon, 1982).

A.2. La función de relación en las plantas

Las plantas, al igual que los animales, son seres vivos y como tales realizan su función de relación. De los animales conocemos diferentes órganos de los sentidos, ya que algunos son ostensibles y patentes, pero quizás desconozcamos lo que ocurre en el mundo vegetal.

¿Poseen órganos de los sentidos las plantas? ¿Por qué? ¿De qué forma realizan la función de relación? ¿Puedes señalar algún ejemplo?

Comentarios A.2. Es probable que los estudiantes desconozcan cómo realizan los vegetales la función de relación, ya que no tienen órganos de los sentidos, ni sistema nervioso, pero no por ello dejan de reaccionar ante los estímulos externos. Los tropismos son un buen ejemplo de ello.

Explicar estas situaciones relacionándolas con las hormonas vegetales y estableciendo las diferencias con los animales por la inexistencia de sistema circulatorio (poseen sistema de transporte) y distintos órganos de secreción en vegetales, permite entender el funcionamiento de la vida de relación de todos los seres vivos y no sólo la de los animales.

A.3. Concretando el tema de estudio

La función de relación abarca una serie de procesos en los que intervienen estructuras importantes del organismo, como el sistema nervioso, el sistema hormonal y los órganos de los sentidos. Ahora bien, el motivo fundamental del presente tema se focaliza en la forma por la que obtenemos la información del exterior.

¿Qué preguntas podemos hacernos para conocer mejor los sentidos?

Comentarios A.3. Cabe esperar que las cuestiones de los estudiantes se centren en torno a los sentidos, a su anatomía, su funcionamiento, los problemas asociados a sus disfunciones por las que la relación con el mundo exterior se altera, las soluciones a los mismos, los cuidados necesarios para una correcta higiene, la necesidad de hábitos de vida saludables, etc.

De esta forma puede configurarse un posible índice o hilo conductor del tema, que puede quedar como sigue:

- El sistema nervioso y la función de relación.
- El ojo y el sentido de la vista.
- El oído. Audición y equilibrio.
- La nariz y el sentido del olfato.
- La lengua y el sentido del gusto.
- La piel y el sentido del tacto.
- Recapitulación y conclusiones.

En cada uno de estos apartados se procurará estudiar la anatomía, la fisiología y otros aspectos que pueden haber sido señalados por los estudiantes.

Así pues, y antes de avanzar en el desarrollo del tema, conviene que ellos conozcan el índice de trabajo y vean reflejadas sus propuestas de aprendizaje.

EL SISTEMA NERVIOSO Y LA FUNCIÓN DE RELACIÓN

Vamos a centrarnos en el mundo animal y, en concreto, en los órganos de los sentidos. Para entender su funcionamiento debemos conocer la fisiología del sistema nervioso, esto es: cómo se estimula una célula nerviosa, en qué consiste este estímulo y cómo se transmite el impulso nervioso de una célula a otra. Aunque esto se estudia con mayor detenimiento en el sistema nervioso, nos adentramos en este campo para entender mejor el funcionamiento de los sentidos.

A.4. Receptores sensoriales en los animales

Los receptores sensoriales son estructuras nerviosas especializadas capaces de captar los cambios que se producen a su alrededor. Hay varios tipos y cada uno de ellos es sensible a un estímulo determinado.

Los receptores pueden estar agrupados y forman los órganos de los sentidos, o bien pueden encontrarse repartidos por el cuerpo. Según el estímulo que perciben los podemos dividir en:

- Mecanorreceptores: que reconocen estímulos mecánicos y detectan movimientos, contactos, etc.
- Quimiorreceptores: que responden a sustancias químicas.
- Fotorreceptores: que son activados por la energía luminosa.
- Termorreceptores: que detectan variaciones de temperatura.
- Nocirreceptores: que actúan ante cambios intensos de uno o varios tipos de energía que pueden significar un peligro para el organismo, como es el caso de los receptores que son sensibles al dolor, tanto externos como internos.

¿Puedes decir, para cada órgano de los sentidos del cuerpo humano, de qué tipo de receptores sensoriales está compuesto y qué capacidad sensitiva desarrolla? Resume tu información presentándola en una tabla de tres columnas.

Comentarios A.4. Esta actividad es la concreción de la anterior y se trata de relacionar los órganos con el tipo de estímulos que percibe y, por tanto, con la clase de receptor sensible.

SENSACIÓN	ÓRGANO	NATURALEZA DEL RECEPTOR
Vista	Ojos	Fotorreceptores
Audición	Oído	Mecanorreceptores
Equilibrio	Oído (C. semicirculares)	Mecanorreceptores
Olfato	Nariz	Quimiorreceptores
Gusto	Lengua	Quimiorreceptores
Presión, cosquillas	Piel	Mecanorreceptores
Frío, calor	Piel	Termorreceptores
Dolor, presión	Piel	Nocirreceptores externos
Dolor interno	Distribuido por el interior del cuerpo	Nocirreceptores internos

Como vemos, aunque son cinco los órganos que reciben las sensaciones, éstas son más de cinco, por lo que el número de posibles sentidos es mayor, y así podemos hablar del sentido del equilibrio, del frío, del calor, etc.

A.5. Umbral de percepción

Vamos a realizar una actividad sobre el umbral de percepción de los sentidos. Para ello, y con los ojos cerrados, extiende una mano. Un compañero o compañera situará un folio en la palma de tu mano e irá poco a poco añadiendo folios de uno en uno. Debes tratar de señalar en qué momento deja caer cada nuevo folio. Realiza la misma operación pero, en lugar de agregar un folio cada vez, añade un buen grupo de folios.

¿Notas la diferencia que existe cuando depositan un folio y cuando agregan una mayor cantidad?
 ¿Podrías, basándote en este símil, explicar a qué llamamos umbral de percepción de un receptor sensorial?

Comentarios A.5. Hay que recordar que los órganos de los sentidos están formados fundamentalmente por acumulaciones de células sensitivas, que poseen unos determinados intervalos de percepción, de forma que por debajo del mínimo no lo acusan y por encima del máximo se saturan. Esto es, se adaptan o saturan a un determinado estímulo, dejando de actuar ante él.

A.6. ¿Dónde identificamos nuestras sensaciones?

Los estímulos que recibimos son físicos, químicos, lumínicos..., pero nosotros reconocemos el suave roce de una pluma, el aroma de una flor, o los colores del arco iris, esto es: los estímulos se materializan en objetos, situaciones o sujetos concretos.

Esta transformación del estímulo, ¿se da en el propio órgano del sentido? Esto es, la identificación de una determinada sensación del tacto, ¿tiene lugar en la propia piel? ¿Caracterizamos el olor que nos llega como el de una rosa en la propia nariz? ¿La identificación de unos colores o de unas formas ocurre en el mismo ojo?

¿Dónde supones que tiene lugar esta transformación?

¿Cómo puedes demostrar tu suposición?

Comentarios A.6. Los estímulos son recibidos por los sentidos, pero éstos se convierten en una imagen, en un sonido, en un concepto, cuando les damos sentido, esto es, cuando llegan al cerebro y allí son interpretados y asociados a ideas, recuerdos, otras sensaciones o determinadas respuestas. Es decir, son traducidos a las diferentes sensaciones.

La demostración de este fenómeno puede llevarse a cabo de varias maneras: a) animales que han sufrido algún golpe en el cerebro, o tienen alguna afección, poseen dificultades para ver, oír, oler, etc. dependiendo del lugar afectado en el cerebro, lo que se comprueba con las autopsias de animales que poseen algún sentido dañado. b) un mismo estímulo (lumínico, sónico, químico, etc.) unas veces es interpretado de una manera y otras veces de otra, aún tratándose del mismo estímulo, ya que depende de la historia personal de cada individuo.

A.7. Transmisión del estímulo

Los estímulos sensoriales son recibidos por los diferentes órganos de los sentidos, pero hemos visto que éstos, de alguna manera, viajan al cerebro donde les damos significado.

¿Qué estructuras conectan los órganos de los sentidos y el cerebro de manera que permiten el viaje del estímulo? ¿Cómo tiene lugar este desplazamiento del estímulo?

Comentarios A.7. Los estudiantes de este nivel conocen que las unidades básicas del sistema nervioso son las neuronas, especializadas en transmitir los mensajes como impulsos a otras neuronas, músculos o glándulas. Los axones de las neuronas, debidamente agrupados forman los nervios, que pueden ser sensitivos o motores. En nuestro caso, las estructuras que conectan los sentidos con el cerebro son los nervios sensitivos.

Los estudiantes pueden pensar que la percepción de los objetos tiene lugar en el propio órgano sensorial, de forma que a través del nervio y en su desplazamiento hacia el cerebro viajan las pequeñas campanas que hemos oído, las pequeñas mesas que estamos viendo o pequeñas porciones de la comida que estamos ingiriendo.

Es momento de introducir o recordar el funcionamiento general de los sentidos, de las neuronas y cómo se transmiten por los nervios los estímulos: la transducción sensorial, el potencial de acción, la despolarización de la membrana sensorial, la dirección única de los estímulos, la comunicación sináptica y la actuación de la mielina (Guyton, 1998).

Este aspecto del presente tema de los sentidos presenta ciertas dificultades de comprensión para los estudiantes, de forma que suele derivar en la construcción de errores conceptuales que debemos tener en cuenta. Para ello señalamos de interés la lectura de artículos como los de Perales (1997); Saura y De Pro (1999); Pérez Rodríguez y otros (2003); Gil y otros (2003); Ors (2004); Bravo y Rocha (2004), etc.

A.8. Los caminos de los estímulos sensoriales

Los diferentes estímulos, químicos, lumínicos, mecánicos, etc., recibidos en los órganos de los sentidos son convertidos por ellos en señales nerviosas mediante lo que se denomina transducción sensorial. Estos estímulos nerviosos, consistentes en la despolarización de la membrana de las neuronas (Berkaloff et al., 1983), son conducidos por los nervios sensitivos (procedentes de los órganos de los sentidos o receptores sensoriales) hacia los centros nerviosos y, fundamentalmente, llegan al cerebro.

Conviene ahora mencionar cómo está organizado el sistema nervioso. Por ello, puedes señalar, aunque sea brevemente, su organización.

Realiza el siguiente ejercicio: Apóyate con un brazo contra la pared e intenta subirlo con todas tus fuerzas. Tras un par de minutos de esfuerzo, séparate y deja el brazo relajado. ¿Qué le ocurre a tu brazo? ¿Puedes explicarlo? ¿Se trata de un acto reflejo o voluntario?

Comentarios A.8. Puede resultar interesante que los alumnos recuerden, ayudándose con esquemas o ilustraciones, que el sistema nervioso se divide en periférico y central. Que el periférico está formado por los nervios sensitivos y motores, mientras que el central lo componen el encéfalo (formado, a su vez, por cerebro, cerebelo y bulbo raquídeo) y la médula espinal. A los centros nerviosos llegan y de ellos salen los diferentes nervios. Asimismo, pueden comentar las diferencias entre el sistema autónomo (simpático y parasimpático) y el voluntario.

La diferencia fundamental entre el acto reflejo y el voluntario estriba en que en el primero el impulso nervioso llega a la médula espinal y allí mismo se elabora la respuesta, sin necesidad de pasar por el cerebro, mientras que en el voluntario, indefectiblemente, pasa por el cerebro, donde la respuesta es más elaborada y acorde a los estímulos recibidos. La información captada por los sentidos se dirige al cerebro, donde se procesa; sólo en los casos en los que la información consista en una señal de alarma para el organismo, como es el caso del dolor, y por lo tanto se requiera de una respuesta rápida, se dirige directamente a la médula espinal, formando un acto reflejo.

No todos los actos involuntarios son actos reflejos, como se demuestra en la actividad del brazo. Podría pensarse que el levantamiento del brazo de forma autónoma se debe a un acto reflejo, ya que no lo hacemos intencionalmente, por lo que el estímulo llegaría a la médula espinal pero no al cerebro. Sin embargo, a este efecto se le conoce como la ilusión de Kohnstamn y depende de la memoria motora, que se encuentra situada en el cerebro. El brazo sigue haciendo fuerza porque el cerebro y el músculo se habían “acostumbrado” a ello y tardan unos segundos en adaptarse a una nueva situación.

A.9. El cerebro responde

La información transmitida de los receptores sensoriales hasta la correspondiente zona de la corteza cerebral (que es distinta según el estímulo captado) es codificada y allí se realiza la discriminación de los complejos rasgos que le llegan.

Hay que pensar que los estímulos naturales implican complicadas interacciones de varios estímulos, lo que supone la intervención de un gran conjunto de neuronas en el cerebro que conducen a respuestas distintas. Así, se ignora de qué manera se codifican las cualidades de los sabores en el sistema nervioso central, y no se sabe con exactitud de qué manera se tratan los estímulos olfatorios que nos llegan, es decir, cómo se reconoce el aroma de una rosa o el olor de una persona especial. Pero es evidente que la información recibida es procesada por el cerebro, el cual emite una respuesta, que será diferente atendiendo a las características de las personas, esto es, puede haber distintas respuesta ante un mismo estímulo. Así, la estimulación de los receptores térmicos es procesada por el hipotálamo, que se encarga de emitir respuestas compensatorias (tiritar, sudar, vasoconstricción, vasodilatación, etc.).

Mira la figura adjunta y comenta con el compañero/a lo que has visto.



Propón la realización de experiencias que permitan constatar que, ante un mismo estímulo, las personas podemos emitir distintas respuestas.

Comentarios A.9. Conviene que exploremos con mayor detenimiento el papel que el cerebro cumple en la percepción de los estímulos, elaborando las respuestas y no ofreciéndolas de forma mecánica.

Para ello se pueden realizar actividades de oler y probar sustancias como vinagre, sal, azúcar o limón, y después cada uno expresar un adjetivo que las identifique. Los adjetivos utilizados son muy variados, máxime si realizamos la experiencia sin

saber lo que probamos. También se pueden presentar figuras ambiguas o difíciles de interpretar, como son los dibujos de Escher (Escher y Escher, 1985).

En estas actividades se comprueba que ante los mismos estímulos no todas las personas dan las mismas respuestas, por lo que debe haber un procesamiento de la información en el cerebro. Las respuestas a los estímulos, aunque rápidas, no son automáticas. Observamos que hay un componente subjetivo en la interpretación de la información sensorial. Cada cual elabora la respuesta que ha creído oportuna.

Una figura interesante para estudiar es la que se presenta de Gregory en la que aparecen unas áreas negras como caras y unas blancas como el perfil de un jarrón. Nuestra percepción alterna entre estas dos interpretaciones. Esto ilustra que percibimos modelos como conjuntos consistentes, cada uno distinto del otro. También ilustra que la percepción implica tomar una “decisión” de lo que es la figura (“señal”) y lo que es el fondo (“ruido”). Esto, además, muestra que la percepción no es solamente la recepción pasiva de señales sensoriales individuales, sino que supone la interpretación activa por el cerebro.

A.10. Concentración de órganos de los sentidos

Los órganos de los sentidos en los humanos no se encuentran regularmente distribuidos por todo el cuerpo, pues la mayoría están concentrados en la cabeza.

¿Todos los animales tienen una distribución de sus órganos de los sentidos semejante a la nuestra? ¿Qué significa el proceso de cefalización? ¿Qué ventajas ofrece?

Comentarios A.10. La cefalización es la diferenciación de un extremo cefálico o cabeza, en el que se concentran la mayor parte de los órganos de los sentidos. Se da fundamentalmente en los animales con simetría bilateral (recordar los órganos de los sentidos en estrellas de mar, erizos, esponjas o actinias). Esto conlleva grandes ventajas para organismos que se desplazan activamente con esta parte del cuerpo por delante, ya que es la disposición más eficaz para los sistemas de recepción y para dar una respuesta rápida a los estímulos ambientales (Barnes, 1979).

Una vez examinadas las cuestiones generales que afectan a los sentidos, estudiaremos con algo más de detalle cada uno de los sentidos que tenemos los humanos.

EL OJO Y EL SENTIDO DE LA VISTA

A.11. Importancia de los ojos en nuestra cultura

Podemos comenzar el estudio del sentido de la vista recordando la importancia que tienen los ojos para nosotros y nuestra cultura. Así, el ojo es, en líneas generales, la vía fundamental mediante la cual el hombre recibe información del mundo exterior. Pero a los ojos también se les suelen atribuir otras propiedades. Los enamorados se miran a los ojos tratando de explorar los sentimientos de la persona amada. Los poetas de la antigüedad, por poseer el don de la videncia, ya que intuían lo que iba a acontecer, no podían contemplar lo que tenían cerca; esto es, la posesión de los ojos del alma suponía la ceguera

física, como muestran los retratos imaginarios de Homero ciego. Al Dios padre cristiano se le representa mediante un ojo único inscrito en un triángulo. Osiris significa “el ojo sobre el trono”, etc.

Busca refranes, adivinanzas, situaciones o hechos de la vida cotidiana en los que los ojos tengan un papel importante.

Comentarios A.11. Se trata de comprobar la identificación que hacemos de los ojos con la puerta de entrada de nuestras más importante sensaciones: los ojos como ventanas tanto al mundo exterior como al interior. Refranes, dichos, adivinanzas y hechos en los que se ensalzan los ojos hay muchos, y en cada lugar y cultura existen unos específicos, que pueden ser recogidos como muestra.

Algunos ejemplos pueden ser:

“Ojos que no ven, corazón que no siente”.

“El ojo que tú ves, no es ojo porque tú lo veas, es ojo porque te ve”(A. Machado).

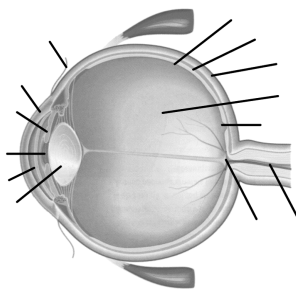
La Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE).

Es un buen momento para comentar los problemas de las personas invidentes, en el interior de los edificios, las casas, en las ciudades, etc. Una actividad a realizar puede consistir en moverse por la clase con los ojos vendados, etc.

A.12. Anatomía del ojo humano

El funcionamiento del ojo humano está condicionado por su estructura y organización. Por ello, el primer paso en su estudio consiste en conocer su anatomía. La actividad propuesta sirve para actualizar nuestros conocimientos.

En el presente esquema del corte sagital de un ojo, señala sus partes más importantes.



Comentarios A.12. El tema de la anatomía es ya conocido por los estudios previos de los alumnos, por lo que no le dedicaremos mucho tiempo. Información complementaria se puede obtener con facilidad de Internet o cualquier libro de texto. No obstante, conviene recordar algunas cuestiones fundamentales. En primer lugar, que hay tres capas superpuestas que conforman el globo ocular: la esclerótica, la coroides y, fundamentalmente, la capa interna o retina, que posee las células fotosensibles,

conos y bastones. Luego pueden detallarse algunas características de la retina: posee 5,5 millones de **conos** que se encargan de captar los colores (unos son sensibles al color rojo, otros al verde y otros al azul) y 125 millones de **bastones** que detectan diferentes intensidades de luz y se mantienen sensibles en la penumbra, además, en esta capa se encuentra la fovea, pequeña depresión donde la visión es más aguda por existir un cúmulo de estas células fotosensibles. Es importante insistir también en las características del cristalino, de los humores, así como del nervio óptico.

A.13. Existencia de un punto ciego en el interior del ojo

Existe un lugar en la retina en el que no existen conos ni bastones y desde donde arranca el nervio óptico. A este punto se le denomina ciego porque las imágenes que se proyectan en él no las percibimos.

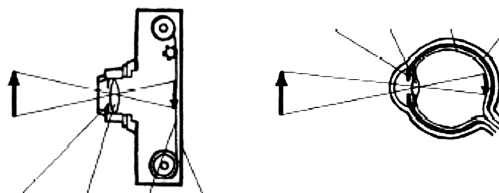
¿Cómo puedes demostrar la existencia del punto ciego del ojo? Esto es, ¿cómo proyectar una imagen conocida en el citado punto? ¿Qué es lo que se verá?

Comentarios A.13. En un papel blanco se dibuja una cruz y a unos 15 cm a la derecha un punto grueso. Se cierra el ojo izquierdo. Se mira la cruz con el ojo derecho y se acerca lentamente el papel. Llega un momento en que el punto situado a la derecha desaparece. En este momento, la imagen del punto se forma sobre el punto ciego y no se ve. Si continuamos acercando el papel, volveremos a ver el punto que había desaparecido. La pregunta que nos podemos hacer es: ¿ocurre lo mismo con un punto situado encima o debajo de la cruz? ¿Por qué?

A.14. Fisiología del ojo

Después de estudiar la anatomía del ojo vamos a tratar de conocer cómo funcionan cada una de las partes que lo forman. Se suelen establecer comparaciones entre la cámara fotográfica y el ojo; de hecho, las imágenes que se reciben en ambos se proyectan de forma invertida.

En el presente esquema se simbolizan un ojo y una cámara fotográfica ¿Puedes indicar el nombre de sus partes principales y comparar las que poseen una misma función? Concreta cómo se regula la entrada de luz en el interior del ojo y en la cámara. ¿Dónde reside la importancia del cristalino, el humor acuoso y el humor vítreo?



Comentarios A.14. Establecemos semejanzas entre el ojo y una cámara fotográfica ya que:

- *Ambos tienen un sistema de apertura variable por donde penetra la luz (pupila-diafragma).*
- *Los dos poseen un mecanismo para enfocar la imagen (cristalino-lentes), aunque el procedimiento utilizado sea diferente.*
- *Tienen un lugar donde se forma la imagen (retina-placa fotográfica).*
- *El interior del ojo y el de la cámara son oscuros.*

Para comprender bien el significado del cristalino y demás componentes del ojo podemos presentar el problema hipotético siguiente: ¿crees que puede existir un hombre completamente transparente? Si existiera, ¿crees que podría ver?

El problema presentado trata de ofrecer mayor información de la fisiología del ojo.

Un hombre transparente no puede existir, al menos en lo que se refiere a los ojos, ya que se requiere que el cristalino cambie la dirección de los rayos luminosos para que éstos se proyecten en la retina, la cual no puede ser transparente para que las imágenes se puedan proyectar en ella.

Esta actividad es un momento adecuado para proponer al alumnado, si no lo han hecho en estudios anteriores, la construcción de una cámara oscura. Conocida desde la antigüedad, consiste en una caja completamente oscura a la que practicamos un pequeño orificio. Por él penetra la luz, alcanzando el lado opuesto. Allí se produce una imagen exacta pero invertida de la escena exterior. Para poder observar esta imagen se requiere que la parte opuesta a la que hemos practicado el orificio sea translúcida. La nitidez de la imagen disminuye según aumenta el tamaño de la abertura, por lo que ésta debe ser muy pequeña. No obstante, si no entra suficiente luz la imagen no se forma, por lo que hay que guardar un equilibrio entre apertura y luminosidad.

A.15. Fotoquímica del ojo

Al ojo le llega la luz desde el exterior y se estimula por poseer células fotosensibles. No se requiere un estímulo muy grande para excitar una célula retiniana, cono o bastón, pues una tenue luz es suficiente para este cometido.

¿En qué consiste la excitación de los conos y bastones y de qué forma esta excitación se convierte en impulso nervioso?

Comentarios A.15. Interesa que el alumnado encuentre la dificultad de excitar una célula nerviosa a través de la luz, esto es, que reconozca la diferencia entre la excitación de una célula fotosensible y el impulso nervioso que luego se forma y se transmite a través del nervio óptico. Entendido el problema, el profesor puede señalar a la rodopsina, derivado de la vitamina A y que se encuentra en los sacos membranosos de conos y bastones, como molécula responsable, ya que es escindida por la luz dando lugar a opsina y retinol. Esta escisión permite la síntesis de ATP, con lo que la energía luminosa se transforma en energía química que abre los canales iónicos para la entrada de Na^+ y salida de K^+ en la célula (Costanzo, 1999).

Esta despolarización de la membrana, que constituye el impulso nervioso, va pasando de célula en célula en la retina hasta que llega a la neurona que forma parte del nervio óptico, que la conduce al cerebro.

A.16. Fisiología de la visión

Tenemos dos ojos y cada uno mira el mismo objeto desde posiciones, y por tanto direcciones, distintas, ya que están ligeramente separados uno del otro (65 mm por término medio). Cada ojo forma una imagen diferente del objeto; sin embargo, en el cerebro se construye una única representación resultado de la superposición de las dos imágenes.

¿Qué ventajas representa la visión binocular frente a una monocular?

¿Qué aporta el hecho de que los humanos tengamos los dos ojos en una posición frontal y no lateral, como muchos otros animales?

¿Cómo podemos demostrar que cada ojo forma una imagen diferente?

Comentarios A.16. La participación de los dos ojos nos permite conocer dimensiones, relieves y distancias (Kanizsa, 1986).

La posición frontal de los dos ojos permite que los dos campos de visión se superpongan y sean posible las ventajas comentadas.

La apreciación del relieve (visión estereoscópica) se debe a que se acentúa la diferencia entre las imágenes formadas en ambas retinas.

Para demostrar que cada ojo forma una imagen diferente y que en el cerebro “sumamos” las dos, podemos realizar la experiencia de la mano agujereada. Consiste en lo siguiente:

Se coloca un cilindro de papel en el ojo derecho y se dirige la mirada a lo lejos, con los dos ojos abiertos. Se acerca la mano izquierda extendida, perpendicularmente por el centro del tubo hasta que lo toques.

Al momento veremos la mano agujereada, fruto de la unión de la imagen de un ojo, que es la de la mano, con la del otro, que es la del agujero del cilindro.

Se pueden buscar figuras de colores apropiados y observarlas usando gafas que tengan un cristal azul y el otro rojo (se pueden construir con papeles celofán de estos colores).

La coloración que vemos no se forma por dos imágenes iguales en las retinas, ya que éstas poseen colores diferentes, sino porque ambas se superponen.

Es momento de explicar el quiasma óptico y cómo se forman las imágenes en el cerebro, recordando que las fibras del nervio óptico que salen del lado izquierdo de ambas retinas (correspondientes al lado derecho del campo visual) se proyectan en el hemisferio cerebral izquierdo, y las que salen del lado derecho de ambas retinas (correspondientes al lado izquierdo del campo visual), se proyectan en el hemisferio derecho.

A.17. Cálculo de distancias

Uno de los aspectos importantes de la visión binocular reside en la posibilidad de calcular distancias.

Realiza experiencias en las que se demuestre que con los dos ojos calculamos mejor las distancias que con uno sólo.

Comentarios A.17. Con un ojo cerrado tratamos de tocar la punta del dedo de un compañero que esté situado frente a nosotros, pero llegando desde un lado.

Es más difícil que con los ojos abiertos, que no ofrece dificultad.

A.18. El cerebro “construye” nuestra realidad

Con las imágenes que los ojos proporcionan al cerebro, éste va construyendo una realidad siguiendo las reglas de: la sencillez, el llenado de espacios, el uso de las figuras más frecuentes y la utilización de los recuerdos. Con estas reglas, muchas veces nuestro cerebro nos hace representaciones que no existen, por lo que las denominamos ilusiones ópticas.

Realiza un pequeño trabajo recopilando ilusiones ópticas. Busca en la bibliografía, en Internet y trata de explicarlas.

Comentarios A.18. El campo de las ilusiones ópticas es un mundo que suele ofrecer interés al estudiante por su curiosidad. Es momento de incentivar la búsqueda por Internet y procurar que realicen presentaciones con el programa PowerPoint, tratando de explicar sus hallazgos. Unas estupendas ilustraciones las podemos encontrar en Seckel (2000).

A.19. Evolución del ojo en los animales

El ojo humano es uno de los órganos más complejos que tenemos y punto de discusión entre evolucionistas y fijistas. Los primeros tratan de encontrar su posible camino evolutivo: pequeños cambios paulatinos y sucesivos, o bien saltos cualitativos. Los segundos señalan la imposibilidad de llegar a un órgano tan complejo a través del azar que supone la evolución.

Es evidente que el órgano de la vista presenta una gran complejidad: su forma globular, las capas que lo envuelven, las glándulas lacrimales, la musculatura que permite el movimiento, los pigmentos que poseen las células fotosensibles, etc. ¿Se requieren todas estas estructuras para captar los estímulos luminosos? ¿Puedes señalar diferentes tipos de ojos? ¿Te atreves a sugerir una posible ordenación de complejidad entre todos ellos?

Comentarios A.19. Una preciosa explicación de la evolución que ha sufrido el ojo en el mundo animal la encontramos en el libro Escalando el monte improbable de Dawkins

(1998), al que nos remitimos en esta cuestión. Allí se presenta una posible evolución del ojo humano rastreando entre los diferentes tipos de receptores fotosensibles existentes.

A.20. La higiene de la vista

Necesitamos los dos ojos para toda la vida, por lo que debemos cuidarlos adecuadamente. Para ello hay que tener presente una serie de conductas saludables a lo largo de nuestra vida.

Presenta un conjunto de prácticas higiénicas que se dirijan hacia el cuidado de nuestros ojos. Trata de justificar los consejos que presentes.

Comentarios A.20. La higiene de los sentidos está fundamentada en la anatomía y fisiología de los mismos, por lo que una actividad como la presente se convierte en una actividad de resumen, evaluación y aplicación a la vida cotidiana.

Entre las prácticas que presentarán los alumnos se encontrarán consejos como los siguientes:

1. Mantener una distancia correcta para leer.
2. Los ojos descansan mirando a lo lejos.
3. La luz debe entrar por el lado contrario a la mano con la que se escribe.
4. Una buena iluminación por la noche significa la luz de sobremesa y otra ambiental.
5. No acercarse a la TV o al ordenador en exceso.
6. Revisión oftalmológica anual.
7. Usar gafas de sol cuando sea necesario.
8. No leer en movimiento.
9. Ante la introducción de cuerpos extraños, lavar con agua abundante y no restregarse.
10. Las gasas o pañuelos usados en un ojo no deben utilizarse para el otro.

Ahora la continuación de esta actividad consiste en la búsqueda de argumentos para justificar los consejos presentados, en el debate posterior que se puede organizar en el aula.

A.21. Defectos de la vista

Los ojos, como cualquier órgano del cuerpo, pueden tener malformaciones o defectos. Asimismo, los años hacen, de manera natural, disminuir su buen funcionamiento (de aquí la importancia de sus cuidados para prolongar, en lo posible, la aparición de anomalías).

Señala los principales defectos de la vista, sus causas y esboza sus posibles soluciones.

Comentarios A.21. Los principales defectos de la vista son: la miopía, hipermetropía, astigmatismo, daltonismo y la presbicia o vista cansada.

El astigmatismo se debe a imperfecciones en la curvatura de la córnea y del cristalino, lo que provoca diferencias de nitidez entre las líneas verticales y horizontales.

El daltonismo significa la no distinción de ciertos colores por anomalías en algún tipo de conos de la retina (dependiendo del tipo de daltonismo).

La miopía se debe a un defecto en la curvatura del globo ocular que ocasiona un ojo "alargado", de forma que el cristalino no logra enfocar los objetos lejanos y la imagen se forma antes de llegar a la retina, por lo que se ve borroso. Las lentes divergentes corrigen esta situación. Sin embargo, los objetos cercanos forman su imagen en la retina perfectamente.

La hipermetropía es un defecto que consiste en que el ojo es algo "achatado". En este caso, las personas pueden ver objetos lejanos abombando el cristalino. Sin embargo, no pueden ver con claridad los objetos cercanos, ya que se forman un poco más atrás de la retina. Las lentes convergentes, al juntar los rayos de luz, enfocan la imagen sobre la retina solucionando el problema.

La presbicia o vista cansada suele aparecer a partir de los 40-45 años. Se debe a que el cristalino ha perdido su flexibilidad y, por tanto, su poder de acomodación, resultando difícil que se contraiga y ensanche. En estos casos tiene dificultad para enfocar los objetos cercanos en la retina, por lo que requiere gafas, también con lentes convergentes, como en el caso de la hipermetropía.

A.22. Aplicaciones sociales

A lo largo de la historia el ser humano se ha fijado en la naturaleza para solucionar muchos de sus problemas técnicos. El tema de la vista no podía ser menos y hemos desarrollado toda una serie de instrumentos que tienen relación con los ojos, desde la cámara fotográfica hasta el cine.

Señala artefactos relacionados con el sentido de la vista que facilitan nuestra vida. Intenta explicar en qué se basan.

Comentarios A.22. Son muchos los útiles relacionados con la vista: telescopios, microscopios, gafas, lupas, cámaras fotográficas, la iluminación, el color, la pintura, los proyectores, el cine, la televisión...

De todos ellos, quizás sea conveniente señalar el fundamento del cine, basado en el tiempo que permanece una imagen en la retina o la necesidad de un tiempo para procesar dos imágenes seguidas. De ahí parten los tomavistas, la televisión y todo aquello que signifique captar o reproducir imágenes en movimiento.

EL OÍDO. AUDICIÓN Y EQUILIBRIO

A.23. Importancia del oído

Comenzaremos el estudio del oído reflexionando sobre la importancia que tiene en nuestro mundo de relación.

Sabemos que el oído sirve para detectar y localizar objetos, para la comunicación entre los individuos, para completar la información obtenida a través de otros sentidos, etc. Esto es, mediante los sonidos captamos valiosa información de lo que sucede a nuestro alrededor.

¿Puedes señalar aspectos por los que el oído es valioso?

Diseña una actividad en la que quede patente la importancia del oído para la identificación de algunos objetos.

Comentarios A.23. Esta actividad introductoria trata de mostrarnos la importancia de los sonidos en la vida cotidiana, su grado de complemento para otros sentidos como es la vista, y cómo pueden servir de guía para las personas invidentes.

Los sonidos nos traen recuerdos, nos indican lugares, facilitan la comunicación, nos relajan o nos excitan, etc.

El diseño de la actividad solicitada puede consistir en el siguiente:

Preparar varios recipientes opacos en que introducimos materiales de diferentes tamaños (arena, arroz, garbanzos, canicas, etc.), de manera que, sin ver su contenido, podamos averiguar cuál es el producto que allí se esconde a partir de los sonidos que hacemos que produzcan.

Si no los conseguimos identificar, podemos tratar de clasificarlos en orden creciente de tamaño de los objetos.

A.24. La comunicación a través de los sonidos

La importancia de la audición en el mundo animal la demuestra el hecho de la utilización del sonido para intercambiar información. Algunos animales emiten sonidos muy característicos que señalan diferentes situaciones o estados. Así, las aves, en su conducta de cortejo, manifiestan un canto diferente al que exteriorizan en una situación de alarma o ante la presencia de comida.

¿Qué animales podrías identificar por los sonidos que emiten? ¿Cómo se llaman esos sonidos característicos?

Comentarios A.24. Cada especie animal posee un sonido característico, de forma que a muchos de ellos los podemos reconocer sin verlos, tan sólo escuchándolos.

Es el caso de león con su rugido, del perro con el ladrido, del gato y demás felinos con su maullido, del burro con su rebuzno, del grillo con su canto o grillar, de la rana con su croar, del cuervo con su graznido, de la inmensidad de aves cada una con su trino diferente, de las serpientes con su silbido, etc. Pero los sonidos que emiten no siempre son iguales; así las aves, en sus conductas de cortejo, manifiestan un canto diferente al que exteriorizan en una situación de alarma, o ante la presencia de comida, etc.

Escuchar alguna grabación de sonidos animales y tratar de identificarlos es un buen ejercicio.

A.25. ¿De qué está formado el sonido?

Sabemos que el sonido se transmite por el aire porque nosotros lo escuchamos y vivimos rodeados de él, pero nuestra pregunta gira alrededor de la naturaleza del sonido.

¿En qué consiste el sonido? Trata de elaborar diseños que permitan conocer alguna de sus características.

Comentarios A.25. Los estudiantes recordarán que el sonido está formado por ondas con una determinada frecuencia. Se pueden diseñar experiencias en las que éstas intervengan.

Así, podemos observar cómo el sonido mueve objetos: sobre la membrana de un tambor (que puede ser casero) se depositan unos granos de arena o sal. Desde una cierta distancia se hacen sonar palmas u otros sonidos fuertes y observaremos cómo los granos de arena saltan sin que nadie los toque.

Puesto que las ondas poseen el fenómeno de la reflexión, podemos idear alguna experiencia con el sonido que cumpla esta propiedad.

Se puede comentar el fenómeno del eco.

Hemos visto que el sonido son ondas que se propagan a través de un soporte material. La materia no se desplaza del lugar en que se emite la onda hasta el lugar en que se escucha, pero la onda sí. Esto es, las porciones del material donde se propaga el sonido se comprimen primero, luego empujan a las que tienen cerca y después vuelven a su sitio, repitiéndose este proceso sucesivamente. Se trata de ondas longitudinales, como las que tienen lugar cuando un muelle se estira y luego se suelta, a diferencia, por ejemplo, de las ondas que se propagan en una cuerda estirada cuando se sacude uno de sus extremos.

A.26. ¿Por dónde viajan las ondas sonoras?

Las ondas sonoras no sólo se transmiten por el aire, sino que se propagan a través de los soportes materiales, lo que significa que la velocidad del sonido depende, entre otros factores, del medio de propagación.

¿Qué medio permite una mayor velocidad de transmisión de las ondas: el sólido, el líquido o el gaseoso? ¿Por qué?

En ciertas películas, como *La guerra de las galaxias*, se pueden oír las grandes explosiones que tienen lugar cuando las naves estallan en el espacio interestelar. ¿Hay algo anómalo en esta situación?

Comentarios A.26. La siguiente tabla muestra la velocidad de propagación del sonido en algunos medios. Podemos observar que las ondas se desplazan más lentamente en el aire que en los sólidos.

Medio de transmisión	VELOCIDAD DEL SONIDO metros/seg.
Aire	344
Agua	1.484
Cobre	3.580
Acero	5.050

En el vacío no se pueden oír las explosiones, pues no hay soporte material para que se propaguen las ondas sonoras, por lo que la guerra que tiene lugar en las galaxias es una guerra sorda.

A.27. Características anatómicas del oído

Vamos a centrarnos en el estudio del oído humano y para ello empezaremos por acercarnos a su anatomía.

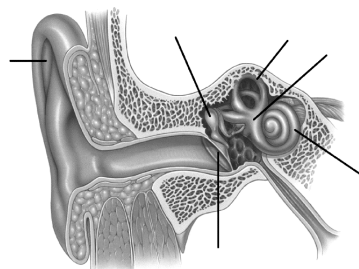
Para situarnos ante la organización morfológica del oído recordamos las siguientes ideas claves acerca del sonido: a) son ondas que se propagan por distintos medios, y b) la velocidad de propagación es mayor en los sólidos que en los líquidos.

Diseña el órgano de un ser vivo que se encuentre especializado en captar las ondas sonoras.

Comentarios A.27. Son muchos los diseños posibles, y en esta actividad el alumnado muestra una gran imaginación, aunque muchos tipos presentan alguna relación con el oído humano. En el mundo animal podemos encontrar toda clase de diseño por lo que puede resultar interesante establecer las relaciones entre el diseño efectuado y el animal que lo posee (Eckert, 1999).

Para terminar la actividad concretando el caso del oído humano, se puede proporcionar a los estudiantes un dibujo como el adjunto en el que interesa resaltar, al menos, lo siguiente:

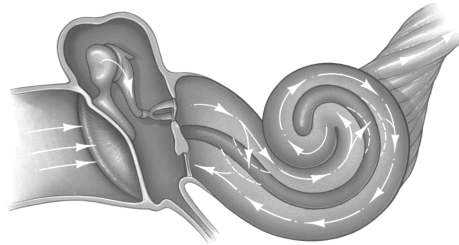
- Una estructura especializada en recoger las ondas sonoras (pabellón auditivo).
- Una membrana que vibre al impactar en ella dichas ondas (tímpano).
- Unas estructuras sólidas y/o líquidas que amplifiquen el sonido (cadena de huesecillos/linfa).
- Unas células sensibles que reciban el estímulo amplificado, esto es unos mecanorreceptores (órgano de Corti).
- Nervio que comunique el oído con el cerebro.



A.28. Funcionamiento del oído

De manera sencilla podemos señalar los siguientes momentos que se producen cuando llegan las ondas sonoras al oído y éste entra en funcionamiento (el paso de las ondas sonoras por las diversas estructuras del oído lo podemos observar en el esquema que se presenta):

1. El pabellón de la oreja recoge las ondas sonoras y las conduce al tímpano, que vibra.
2. Las ondas llegan a la ventana oval, a través de la cadena de huesecillos.
3. Las vibraciones se transmiten por el líquido del canal superior del caracol (rampa vestibular) y salen por el canal inferior (rampa timpánica) hasta la ventana redonda.
4. Existe un fluido que recibe la vibración y la transmite a los receptores (endolinfa).
5. En el recorrido de las ondas a través de este líquido interno se hace vibrar al órgano de Corti, estimulando las células sensoriales que allí se alojan.
6. El estímulo es transmitido por el nervio coclear al cerebro.



Ahora trata de contestar las siguientes preguntas:

- ¿En qué consisten los mecanorreceptores del oído y dónde se sitúan?
- ¿Cómo se estimulan las células de Corti y cómo llega el estímulo al cerebro?
- ¿Cuál es el camino que recorren las ondas sonoras por el interior del oído?
- ¿Qué función desempeña la trompa de Eustaquio?

Comentarios A.28. Los mecanorreceptores se encuentran en el órgano de Corti y se estimulan al paso de las ondas de la perilinfa y endolinfa, que pulsan las células sensoriales hacia la membrana tectoria. La estimulación llega al nervio coclear, que la transmite al cerebro (Guyton, 1998).

El camino que recorren las ondas sonoras por el interior del oído se puede observar en la figura que se adjunta, basta con señalar el nombre de las diversas estructuras por donde se transmiten.

La presión sobre el tímpano se compensa por la comunicación con el exterior que existe a través de la trompa de Eustaquio.

A.29. ¿Por qué dos oídos?

Necesitamos los dos oídos para saber de dónde vienen los sonidos.

Cuando el cerebro compara las ondas que le llegan de cada uno de los oídos puede identificar la fuente de procedencia.

Las personas que tienen sólo uno han de girar la cabeza para saber desde dónde les llega el sonido.

¿Puedes diseñar una experiencia en la que se muestre que el estímulo que recibe cada oído llega independiente al cerebro y allí hay una interpretación conjunta?

Comentarios A.29. Cuando oímos, el cerebro compara las señales que le llegan de los dos oídos, que son independientes, y localiza el origen del sonido.

Podemos engañar al cerebro invirtiendo las señales que llegan a los oídos. Lo comprobamos con dos tubos flexibles que aplicamos a cada uno de los oídos y luego se entrecruzan, de forma que los sonidos que provienen de la derecha lleguen al oído de la izquierda y viceversa. Para captar mejor los sonidos, en los extremos de los tubos se puede aplicar un gran “captador de ondas”, que puede ser un embudo.

En estas condiciones resulta difícil localizar la procedencia de los sonidos.

A.30. El equilibrio, un sentido distinto

Todo organismo necesita orientarse en el espacio, saber no sólo dónde y cómo se encuentra, sino también en qué dirección se mueve: derecha o izquierda, arriba o abajo, etc. Uno de los sentidos que contribuye a dicha orientación es el del equilibrio.

Diseña la arquitectura y el posible funcionamiento de una estructura que pudiera indicar a los seres vivos su orientación en el espacio, de forma que no perdieran el equilibrio.

Comentarios A.30. Esta actividad sirve para señalar la independencia de las funciones de la audición y del equilibrio, por lo que no sería necesaria su unión anatómica. No obstante, dado que ambas funcionan con un mismo líquido interno (peri y endolinfa), poseen la conexión que observamos.

Casi todos los diseños pasan por unos modelos semejantes a las reglas de niveles que se usan en la construcción, esto es, un líquido con una burbuja que se desplaza si no mantiene una determinada posición. Dado que en el espacio podemos distinguir tres direcciones, un posible diseño presenta una solución para cada una de ellas, aunque siempre con una central de interpretación (cerebro).

En el caso de los humanos, el sentido del equilibrio está formado por los canales semicirculares, el utrículo y el sáculo. En ellos se encuentran unos mecanorreceptores que son internos (propioceptores).

Los canales semicirculares se disponen en las tres direcciones básicas en las que podemos dividir el espacio. Poseen un ensanchamiento que contiene la **cresta acústica**, formada por células nerviosas ciliares inmersas en una gelatina. Al realizar movimientos o aceleraciones, los cilios se flexionan y ocasionan impulsos que se transmiten a través del nervio acústico hacia el cerebro.

El utrículo y el sáculo tienen una mancha, la **mácula estática**, formada por células ciliares cubiertas de cristalitos de calcio, otolitos. Nos indican la posición de la cabeza con respecto a la gravedad, por presión de las piedrecitas sobre los cilios.

A.31. El mareo y el vértigo

El nervio acústico conecta el órgano del oído con el cerebro, de forma que tanto los sonidos que provienen del exterior como los estímulos internos que se generan en el órgano del equilibrio son trasladados al cerebro.

Muchas veces y ante determinada información procedente del órgano del equilibrio, el cerebro que la procesa sufre una cierta confusión que denominamos mareo. Otras veces padece sensaciones de vértigo. ¿Puedes decir en qué consiste y a qué se debe cada una de estas situaciones?

Comentarios A.31. Cuando giramos a cierta velocidad nos solemos marear. Ello se debe a la gran cantidad de información contradictoria y rápida que recibe el cerebro, ya que los tres canales semicirculares están siendo estimulados.

Cuando nos encontramos a cierta altura y miramos hacia abajo, podemos tener vértigo o sensación de pérdida de equilibrio. En esta sensación interviene la visión, pero el cerebro elabora la misma respuesta que cuando realizamos los giros repetidos: el mareo. En ambas ocasiones la respuesta del cerebro consiste en emitir señales de advertencia o de peligro, para que adoptemos medidas de precaución.

A.32. La higiene de la audición

Es necesario que sigamos unas sencillas reglas preventivas y de higiene que nos permitan cuidar nuestros oídos y mantenerlos en un buen nivel de funcionamiento. De esta forma podemos apreciar mejor todos los sonidos que nos llegan.

Elaborar entre todos unos consejos para el cuidado de los oídos.

Comentarios A.32. Necesitamos los oídos para toda la vida, por lo que debemos cuidarlos adecuadamente. Para ello debemos tener presente consejos como los siguientes:

1. MANTENER LOS OÍDOS LÍMPIOS.
Utilizar agua tibia y jabonosa para mantener los conductos auditivos limpios.
No usar objetos punzantes ni bastoncillos higiénicos.
2. PROTECCIÓN ANTE LOS RUIDOS MUY INTENSOS O VIOLENTOS.
Ante los ruidos violentos (por ejemplo, petardos), alejarse de ellos o tomar la precaución de entreabrir la boca.
Hablar con un tono medio, sin gritar.
No golpear objetos que produzcan ruidos.
Procurar que los vehículos a motor lleven silenciadores en buen estado.
Respetar la intimidad de los vecinos evitando ruidos innecesarios. Por ejemplo, poner protectores en las patas de las sillas, sillones y mesas.
Evitar escuchar música más fuerte de lo necesario. Los auriculares no deben transmitir con exceso de volumen.
Utilizar tapones para atenuar el excesivo ruido ambiental.

Señalar ante la administración correspondiente las fuentes de contaminación acústica.

3. USAR TAPONES EN LOS BAÑOS PÚBLICOS.

Emplear tapones para los oídos en las piscinas y los baños públicos. Recordar que no son adecuados para hacer inmersiones.

4. ACUDIR AL MÉDICO PERIÓDICAMENTE.

Cuando se tenga algún problema de audición o dolor de oídos y anualmente como medida preventiva.

A.33. Los efectos del ruido

En la anterior actividad de elaborar una serie de medidas higiénicas y protectoras del oído, hemos prestado especial atención a las de protección contra el ruido, ya que, aunque no lo parezca, afecta de modo importante a nuestra salud.

Discutid en clase y señalad los efectos que puede ocasionar el ruido sobre nuestro organismo.

Comentarios A.33. El ruido produce una serie de efectos en nuestra salud, que dependen de su intensidad y de la duración de la exposición.

Sobre el oído: sordera temporal o prolongada, fatiga auditiva y falta de percepción bilateral.

Sobre el sistema nervioso: irritabilidad, cansancio, fatiga, náuseas, vértigo, estrés e insomnio.

Sobre el resto del organismo: trastornos digestivos, respiratorios y circulatorios, así como alteraciones del sistema endocrino.

Causa el 15% de las pérdidas de las jornadas de trabajo y el 20% de las consultas psiquiátricas.

Para recuperarse de una exposición de 10 minutos a un ruido de 100 dB se necesitan 30 minutos de tranquilidad acústica.

La exposición a un ruido violento y repentino puede producir una pérdida temporal de la audición e incluso sordera permanente.

En ambiente ruidoso, a partir de 60 dB, disminuye la capacidad de concentración y la memoria, el aprendizaje es más lento y se cometen más errores.

Exposiciones repetidas a un ruido superior a 80 dB deterioran el oído al destruir las células ciliares del oído interno.

A.34. La contaminación acústica

El principal foco de contaminación acústica que soportamos todos los días se encuentra en las ciudades con sus múltiples y continuos ruidos de todo origen. Podemos realizar una sencilla investigación que identifique y denuncie la procedencia de los más molestos, así como los lugares en los que son más intensos.

Elabora un mapa de ruidos de tu ciudad, señalando las calles y las horas más ruidosas. Señala las causas de esos ruidos.

Comentarios A.34. Esta actividad de medición de los ruidos en las calles se puede llevar a cabo de varias maneras: La más sencilla es mediante un sonómetro. También se pueden usar dos magnetófonos, que midan los ruidos de las calles de los lugares seleccionados en distintos momentos. Otra posibilidad es medir la distancia a la que se puede oír un determinado ruido (campana, despertador) o música en ciertas calles y comparar esa medición.

Los datos obtenidos se plasman en el plano de la ciudad, utilizando colores identificativos, y se presentan al público para su conocimiento.

A.35. Utilizando las ondas sonoras

Podemos resumir nuestros conocimientos sobre el oído y la audición y tratar de aplicarlos a otros campos distintos del cuerpo humano.

Sabemos en qué consiste el sonido y cómo funciona el oído. ¿Qué aplicaciones podemos encontrar a nuestros conocimientos?

Comentarios A.35. Esta actividad nos permite hablar del sónar y del radar, así como de sus aplicaciones.

De cómo se orientan los murciélagos si no tienen ojos.

De cómo se comunican algunos animales acuáticos, por ejemplo los delfines.

De los audífonos para personas con deficiencias acústicas. De las personas sordomudas, las posibles causas de su minusvalía y la forma de superarla, del lenguaje de signos, etc.

LA NARIZ Y EL SENTIDO DEL OLFATO

A.36. Importancia del olfato

El olfato es un sentido muy desarrollado en ciertos animales, pero poco en la especie humana, en comparación con ellos. Sin embargo, si careciéramos de él, no podríamos percibir determinados estímulos que son necesarios para realizar convenientemente tareas cotidianas.

A veces podemos tener la sensación de que el olfato es un sentido poco importante, especialmente si lo comparamos con los demás sentidos. Sin embargo, cumple varias funciones esenciales. ¿Puedes comentarlas?

Comentarios A.36. Los humanos “vemos” el mundo que nos rodea fundamentalmente por los ojos y los oídos, sin prestar demasiada atención a la información que recibimos del olfato. Sin embargo, el olfato está relacionado con muchas de las funciones cotidianas importantes.

Así, el olfato está conexasionado con la alimentación de varias formas: con la obtención del alimento, pues ayuda a encontrarlo; con su degustación, ya que de la interrelación con el gusto percibimos los sabores; de alerta sobre el alimento en mal estado sin necesidad de probarlo, lo que evita envenenamientos, etc. Con la cría y reproducción: las madres y los bebés de muchos animales se reconocen por el olfato. Por este sentido se distingue el estado fértil de muchas hembras. Con la cultura: el olor a tabaco, las colonias, los desodorantes personales, los ambientadores, etc.

A.37. El olfato en el mundo animal

El olfato es posible porque de algunos cuerpos se desprenden partículas volátiles que llegan a unos receptores que son capaces de impresionarse por ellas. Estos receptores, como ya hemos visto, son quimiorreceptores.

Diseña estructuras posibles en animales que permitan captar los olores.
Averigua en qué consiste el órgano del olfato de diversos animales.

Comentario A.37. La estructura más sencilla consta de un receptor, capaz de ser estimulado por una molécula volátil, que se encuentra conectado al cerebro a través del correspondiente nervio sensitivo. La molécula volátil se disolverá en un fluido, que es donde se halla el receptor sensitivo, para poder impresionarlo.

El origen del sentido del olfato hay que buscarlo en los seres unicelulares, pues la quimiotaxis es una respuesta a señales químicas que pueden recibir por cualquier parte del organismo.

Las polillas tienen receptores químicos en las antenas, más de 20.000 en un milímetro de antena. A su vez, producen compuestos químicos capaces de atraer al macho desde gran distancia.

Las hormigas dejan un rastro que las demás pueden seguir como si se tratara de una carretera; además, se palpan con las antenas para comunicar el olor del nido y reconocerse unas a otras.

Las moscas poseen receptores olfativos en sus patas.

Los peces tienen en la parte frontal de la cara dos cavidades nasales o narinas, cada una de ellas dividida en dos por una membrana. El agua entra por una de las aperturas y sale por la otra, pero en su trayecto penetra en un saco sensitivo.

A.38. Anatomía de la nariz

Hemos visto cómo está constituido el órgano del olfato en diversos grupos de animales. Vamos ahora a centrar nuestro estudio en el olfato humano.

En los seres humanos, el olfato está asentado en la nariz para, de esta forma, poder llevar a cabo sus funciones.

Describe brevemente cómo es la anatomía interna de la nariz. ¿Qué significa que las trompas de Eustaquio y los conductos lacrimales se comuniquen con las fosas nasales?

Comentarios A.38. La cavidad nasal está dividida interiormente en dos mitades por el tabique nasal, cada una de ellas es una fosa nasal.

Cada fosa contiene tres láminas casi horizontales, llamadas cornetas, que se encuentran tapizadas por una delicada piel.

La zona inferior tiene función respiratoria: poseen muchos **capilares** (de ahí su color rojo) para calentar el aire y humedecerlo y producen **mucosidades** para filtrarlo de polvo y bacterias.

En la zona superior se encuentra la función olfatoria: la piel que la reviste, de color amarillo parduzco, es la **pituitaria**, con 20 millones de células sensibles a los olores (Netter, 2003).

A.39. Fisiología del órgano del olfato humano

Después de estudiar como está formado el órgano del olfato, conviene aproximarnos a su funcionamiento y encontrar sentido a cada una de las partes constituyentes.

¿Cómo funcionan nuestras fosas nasales para percibir los olores de los cuerpos?
¿Cómo podemos discriminar entre varios olores diferentes?

Comentarios A.39. El epitelio olfatorio de la nariz posee las células olfatorias, que son neuronas bipolares. De uno de los extremos parten unos cilios que son los verdaderos receptores, ya que se ponen en contacto con las moléculas odoríferas.

Las células de este epitelio atraviesan el hueso etmoides por su lámina cribada, llegando al bulbo olfatorio por el otro extremo.

Para que podamos oler una sustancia, ésta ha de ser:

- *Capaz de desprender partículas suficientemente pequeñas para que sean volátiles o moléculas que puedan llegar hasta la nariz.*
- *Soluble en agua, para que alcance la pituitaria.*
- *Soluble en grasas, para que impresione las células sensibles.*

Se dice que existen siete olores primarios: alcanfor, almizcle, flores, menta, picante, éter y podrido. La pregunta que nos hacemos es: ¿cómo podemos identificar estos siete olores?, y también: ¿cómo reconocemos los demás olores?

Existen varias teorías que intentan explicar la discriminación olfativa.

Una posibilidad es la existencia de receptores diferentes para los olores primarios. Esto significa aplicar la hipótesis "llave-cerradura" de la cinética enzimática al olfato. Las células sensitivas podrían tener uno o varios receptores químicos distintos que sólo son sensibles ante determinadas moléculas químicas que se encuentran en los distintos olores.

Otra posibilidad sugiere que la molécula o partícula odorífera se difunde a través de la membrana de la célula receptora formando un poro iónico. Cada olor produce un poro de diferente tamaño y, en consecuencia un potencial del receptor diferente (Hill y Wyse, 1992).

La unión de dos o más olores primarios da como resultado un olor diferente, y así podemos detectar toda la gama de olores posibles.

A.40. Identificando olores

El ser humano tiene unos 10 millones de células olfativas, la décima parte que el perro, pero es capaz de identificar entre 2.000 y 4.000 olores diferentes.

Cita sustancias con olores característicos.

¿Cómo puedes averiguar tu capacidad de discernir intensidades olorosas?

¿Podrías determinar tu umbral de percepción para alguna de ellas?

Comentarios A.40. Gasolina, sales de baño, tabaco, pescado –atún–, cebolla, ajo, menta, café, alcohol, naranja, eucalipto, regaliz, chocolate, crema corporal, suavizante de ropa, orégano, vinagre, leche, queso, pan quemado, ,etc. La lista es muy larga.

Para averiguar la capacidad de discernir intensidades olorosas se toma uno de los productos citados y se hacen varias diluciones. Se trata entonces de ordenar, de mayor a menor intensidad olorosa, los recipientes preparados y comprobar nuestro número de aciertos.

El umbral de percepción será la menor dilución que se puede identificar.

A.41. Aspectos sociales de los olores

Sabemos en qué consisten los olores, cómo llegan al cerebro y que éste posee memoria de ellos, pero no podemos terminar este apartado si no indagamos acerca de sus aplicaciones sociales.

¿Qué aplicaciones podemos encontrar a nuestros conocimientos sobre los olores?

Comentarios A.41. Esta actividad nos permite comentar diversos aspectos de interés. Por ejemplo:

Cada persona tiene su propio olor, que cambia sutilmente según el estado anímico y el metabolismo.

La importancia de los perfumes, tratando de anular el olor corporal y ofreciendo otro diferente previamente establecido y conocido.

El gusto y el olfato están muy relacionados, por eso los grandes gourmets son personas que tienen muy buen olfato

Los receptores olfativos empiezan a atrofiarse desde que nacemos. A los 20 años conservamos el 80% de nuestra capacidad olfativa. A los 80 años, generalmente sólo el 28%.

LA LENGUA Y EL SENTIDO DEL GUSTO

A.42. Importancia del sentido del gusto

Este apartado lo dedicaremos a estudiar el sentido del gusto y el órgano donde éste se localiza, cómo funciona y qué podemos hacer para mejorarlo y conservarlo, ya que se trata de un sentido importante pues permite analizar el sabor del alimento que se ingiere.

¿Qué otras funciones cumple el sentido del gusto? ¿Por qué es importante?

Comentarios A.42. Mediante los sabores reconocemos a los alimentos, por lo que sólo ingerimos los que conocemos o mostramos precaución con los desconocidos. Los alimentos en mal estado o con sustancias tóxicas producen sensaciones desagradables al gusto, por lo que los desechamos.

Las señales gustativas provocan respuesta fisiológicas que favorecen la utilización efectiva de los nutrientes ingeridos. Así, se estimula la secreción de saliva, de los jugos gástricos y de insulina.

Existe una concomitancia entre el sabor y el placer. En ella se basa el aprendizaje de nuestra conducta hacia determinados tipos de alimentos, bien para intentar conseguirlos o bien para rechazarlos.

Las relaciones sociales de nuestra cultura utilizan el sabor agradable que ofrecen ciertos alimentos para proporcionar placer en las conductas de socialización (banquetes, fiestas, etc.).

A.43. Ubicación del órgano del sentido del gusto. Su anatomía

El sentido del gusto se posibilita al entrar en contacto con las sustancias químicas que componen los cuerpos. Se trata, pues, de quimiorreceptores que identifican las cualidades químicas de las sustancias alimenticias.

¿Cómo diseñarías un órgano capaz de percibir los sabores que fuera útil para un animal? ¿Dónde ubicarías los órganos receptores del gusto?

Comentarios A.43. El órgano encargado de recibir las propiedades químicas de los alimentos debe situarse en el exterior del cuerpo, en la puerta de entrada del aparato digestivo, dado que no tendría sentido si el gusto lo percibiéramos una vez ingerido el alimento. En todo caso, contará con unas estructuras especializadas capaces de encontrar las diferencias químicas entre las sustancias que componen los alimentos.

Sobre el sentido de gusto que se encuentra en el mundo animal se puede comentar desde la quimiotaxis de los organismos unicelulares hasta el estómago evaginable de los equinodermos y estrellas de mar, pasando por los quimiorreceptores de los peces distribuidos por la parte exterior del cuerpo.

Una posibilidad, y la más frecuente, es la que se encuentra en los humanos, esto es, al comienzo del tubo digestivo, en la boca.

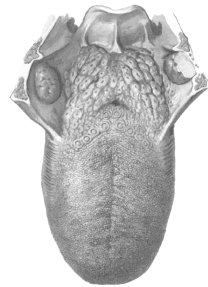
Los quimiorreceptores son células quimiosensibles que se encuentran en la boca: paladar, faringe, pero sobre todo en la lengua. Estas células se agrupan formando botones gustativos, y los botones se disponen en las papilas gustativas, que son las pequeñas protuberancias visibles a simple vista que se encuentran en la lengua.

A.44. Un mapa de la lengua

Hemos visto que la lengua no es sólo un músculo que ayuda durante la masticación y deglución. Es, además, un lugar idóneo para que en él resida el sentido del gusto, por lo que conviene dedicarle cierta atención.

Si la observamos con atención podemos encontrar, por su diferente forma, cuatro tipos de papilas gustativas: las filiformes, que tienen forma de hilo; las fungiformes, con forma de hongo; las caliciformes, que tienen forma de copa, y las foliáceas, que son repliegues de la mucosa, por lo que tienen aspecto de hoja.

En el presente dibujo esquemático de la lengua sitúa los cuatro tipos de papilas gustativas diferentes.



Comentarios A.44. Las filiformes se encuentran por toda la lengua y en mayor cantidad en el ápice.

Las fungiformes las observamos en la parte delantera y el borde lateral.

Las caliciformes son las más grandes y existen entre 10 y 12 de ellas que se disponen en forma de V en la parte posterior de la lengua.

Las foliáceas se sitúan a cada lado de la base de la lengua (Perlemuter, 1998).

A.45. La saliva

Los sabores dependen de las características químicas de los alimentos. Pero para llegar a impresionar a los quimiorreceptores de la lengua necesitan disolverse en la saliva que, ante determinados alimentos, producimos en gran cantidad.

¿Podemos recordar qué funciones tiene la saliva? ¿En qué consiste? ¿Dónde se secreta?

Comentarios A.45. La saliva es la secreción de las glándulas salivares. Es un líquido que humedece la boca, ablanda la comida, disuelve las sustancias químicas del alimento permitiendo la percepción del sabor, facilita la deglución y contribuye a realizar la digestión.

Hay varios tipos de glándulas salivares: submaxilares, sublinguales, parótidas y bucales.

Es un líquido claro, algo viscoso, alcalino (pH entre 6 y 7), fundamentalmente formado por agua que contiene sales minerales, un enzima llamado ptialina, que se trata de una alfa-amilasa que hidroliza el almidón, y la mucina, que es un lubricante que facilita la masticación y la deglución.

A.46. Los sabores. Fisiología del sentido del gusto

Nos interesa ahora conocer el funcionamiento del sentido del gusto y cómo reconocemos los diferentes sabores.

Sabemos que existen cuatro sabores fundamentales: dulce, salado, ácido y amargo. Pero, ¿existe alguna relación entre estos cuatro sabores y los cuatro tipos de papilas gustativas? Trata de comprobarlo.

Si los quimiorreceptores del gusto son células sensitivas, ¿cómo funcionan y cómo discriminan los sabores?

Comentario A.46. Cada célula sensitiva sólo se estimula ante un determinado sabor.

Existe, pues, especificidad entre sabor y célula sensitiva. Pero los botones gustativos están constituidos por varias de estas células, por lo que pueden detectar varios sabores. De forma similar ocurre con las papilas, ya que están formadas por botones diferentes y por células quimiorreceptoras variadas, de forma que una papila puede detectar sabores distintos. Así, los diversos sabores son percibidos en todas las papilas, esto es, en toda la lengua.

No obstante, en cada papila priman los quimiorreceptores de un tipo, por lo que, de alguna forma, están especializados en un determinado sabor. Así hay una cierta coincidencia entre la detección de sabores en determinadas zonas de la lengua y la ubicación de las papilas gustativas.

Las sustancias químicas se disuelven en la saliva y a través del poro de los botones gustativos entran en contacto con las células sensitivas. Allí interaccionan con los receptores del gusto y con la proteína gustoducina que cataliza las reacciones que desembocan en un cambio de polaridad de la membrana celular, el cual es conducido hasta el nervio.

Los sabores salado y ácido actúan a través de los iones sodio Na^+ e hidrógeno H^+ que directamente producen la despolarización de la membrana de la célula sensitiva.

Se sugiere la existencia de un nuevo sabor: el umami, que se encuentra asociado al glutamato, aminoácido de las proteínas de la carne.

A.47. Relación entre el gusto y el olfato

En el sabor de los alimentos intervienen el gusto y el olfato. El gusto, a través de la impresión de las papilas gustativas. El olfato se activa cuando las moléculas volátiles que se desprenden alcanzan los receptores olfativos de la cavidad nasal. La lengua sólo puede identificar dulce, salado, ácido y amargo. En cambio, los receptores del olor pueden reconocer miles de olores diferentes.

Idea una experiencia que demuestre que el gusto y el olfato interactúan al identificar un sabor.

Al comer un alimento, ¿cómo puede ser impresionado el olfato?

Comentarios A.47. Con los ojos cerrados, para no identificar por la vista, y la nariz tapada, probamos pequeños fragmentos de diversos alimentos: manzana, pera, zanahoria, etc., y observaremos que no los podemos reconocer, pues nos falta el concurso de uno de los sentidos que intervienen en su identificación. Lo mismo podemos hacer con frutos secos variados. Al destaparnos la nariz notamos el sabor con toda su intensidad. Algo similar ocurre cuando nos resfriamos, que es muy difícil identificar entre alimentos que tienen texturas similares.

El olfato se impresiona porque las moléculas volátiles ascienden por detrás del paladar hacia las fosas nasales, dado que existe comunicación entre ambas cavidades.

Lo que nos podemos preguntar es lo siguiente: la boca y las fosas nasales están comunicadas por la faringe; entonces ¿por qué no percibimos el aroma de la comida, pues las partículas gaseosas pueden llegar a la pituitaria a través de las coanas?

A.48. Higiene del órgano del gusto

Las células sensitivas del gusto disminuyen con la edad y poseen los umbrales y la capacidad de adaptación a los estímulos semejantes a toda célula nerviosa.

Señala las precauciones que debemos tener para mantener el sentido del gusto en las mejores condiciones posibles a lo largo de nuestra vida.

La halitosis o mal olor de boca, puede ser producida por los microorganismos allí existentes que producen compuestos volátiles sulfurados. ¿Qué podemos hacer para evitarla?

Comentarios A.48. Algunas de las precauciones que debemos adoptar para cuidar el sentido del gusto son las siguientes:

No al tabaco. El humo del tabaco disminuye la percepción de los sabores, ya que irrita la mucosa lingual.

Ojo al alcohol. Las bebidas alcohólicas entumecen el sentido del gusto.

Cuidado con los alimentos de sabores fuertes. Los alimentos picantes o muy condimentados erosionan las papilas gustativas.

No ingerir comida excesivamente caliente. El calor afecta las células sensitivas y limita su sensibilidad.

Limpiarse la lengua. La halitosis o mal olor de boca se debe, en muchos casos, a los microorganismos de la boca, por ello es importante un cepillado lingual y un enjuague con colutorio al limpiarse los dientes. De todas formas, puede ser debido a otras causas, por lo que si persiste debemos consultar al médico.

LA PIEL Y EL SENTIDO DEL TACTO

A.49. Importancia del sentido del tacto

El tacto es un sentido muy desarrollado en la mayoría de los animales, ya que no sólo permite la relación con el exterior, sino que nos protege en determinadas circunstancias.

¿Puedes señalar la importancia del sentido del tacto?

Comentarios A.49. El sentido del tacto nos permite sentir lo que está en contacto con nosotros e incluso reconocerlo. A través de él nos ponemos en relación directa con los objetos y los organismos de nuestro entorno, estableciendo comunicación directa con ellos. Nos hace sentir caricias y ternura, nos acompaña en la degustación de los alimentos, nos permite buscar protección al percibir diferencias de temperatura, frío o calor, expresando las señales convenientes para que nuestro organismo reaccione ante ellas, y emite la señal de alerta del dolor ante presiones fuertes.

A.50. Ubicación del sentido del tacto

Cada sentido posee unos receptores sensoriales que se ubican en un determinado órgano y en un lugar del cuerpo que resulte idóneo.

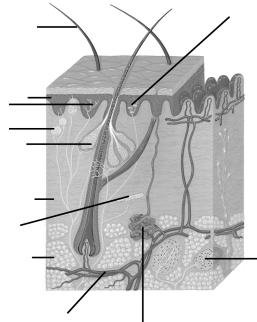
Teniendo en cuenta que los receptores sensitivos del tacto son mecanorreceptores, ¿dónde se localiza el órgano del tacto? ¿Lo ubicarías en otro lugar del cuerpo? ¿Por qué?

Comentarios A.50. Su ubicación está en la piel, difundido por toda ella. Esto representa una ventaja frente a la posibilidad de concentración en un solo punto o en una zona, ya que de no ser así podríamos estar quemándonos y no enterarnos, o estar siendo mordidos por un depredador y no sentirlo.

A.51. Anatomía de la piel

Sabemos que la piel está formada por tres capas: epidermis, dermis e hipodermis, y que en ella se sitúan los receptores sensitivos del tacto.

En el presente esquema se observan las partes más importantes de la piel. ¿Puedes identificarlas e indicar las funciones más significativas de cada una de ellas?



Comentarios A.51. La piel posee tres capas; epidermis, dermis e hipodermis. En la dermis se ubican los receptores sensitivos del tacto (Perlemuter, 1998; Netter, 2003).

En el esquema aparece la epidermis con:

El estrato basal o capa germinativa, con los melanocitos y los queratinocitos. Esta capa está formada por células en continua reproducción, enviando nuevas células hacia el exterior.

La capa espinosa donde las células se aplanan en su viaje hacia el exterior. Poseen gránulos de melanina que protegen de las radiaciones solares.

La capa granulosa. En ella aparece la queratina, que protege de los roces y erosiones. Entre las células hay lípidos que evitan la entrada de agua.

La capa córnea. Son restos celulares con queratina, que se van desprendiendo. Proporciona protección y su grosor es entre 0,02 y 0,5 mm.

En la dermis se encuentran los vasos capilares, los pelos y sus músculos erectores, las glándulas sudoríparas y las sebáceas, y los distintos receptores táctiles, cada uno con capacidad de recibir un diferente estímulo:

Frío → *Corpúsculo de Krause*

Calor → *Corpúsculo de Ruffini*

Presión → *Corpúsculo de Vater-Pacini*

Roce → *Corpúsculo de Meissner*.

Dolor → *Terminación nerviosa libre*

En la hipodermis se encuentran acumulaciones de grasa, por lo que posee una función de aislante térmico.

A.52. Fisiología del tacto

El tacto es un órgano de los sentidos cuyos receptores sensitivos son mecanorreceptores y termorreceptores, pero cada corpúsculo está capacitado para recibir un único tipo de estímulo: presión, frío, calor, dolor, etc.

¿Cómo puedes averiguar la situación de estos corpúsculos en la piel?

¿De qué forma puedes conocer si hay distinta sensibilidad hacia un determinado estímulo en diferentes partes del cuerpo?

¿Poseen el mismo funcionamiento todos los tipos de receptores sensitivos de la piel?, o dicho de otra manera, ¿actúan igual los receptores de la temperatura que los de la presión?

Comentarios A.52. Para comprobar la relación existente entre densidad de receptores táctiles y sensibilidad hacemos la siguiente experiencia con un compañero/a: tomamos un compás y en una zona de la piel le aplicamos las dos puntas con una determinada apertura. Esta apertura la vamos haciendo mayor hasta que la persona, sin mirar, detecte que existen dos puntas y no una.

Esta experiencia la repetimos en diferentes zonas de la piel: dorso y palma de la mano, brazo, antebrazo, etc.

Asimismo, podemos aplicar una punta previamente enfriada con un hielo, o caliente, para comprobar la densidad de los corpúsculos de Krause o de Ruffini en distintas zonas de la piel. Observaremos que cuando se detecta una clase de estímulo en un punto no se detecta otro, pues el lugar está ocupado por un corpúsculo determinado.

El funcionamiento de los distintos receptores es el mismo. Sólo varía el origen de su estímulo.

A.53. El sentido del tacto en el reino animal

El tacto parece el sentido más sencillo de todos al carecer de un órgano sensitivo concreto y poseer una gran variedad de receptores distribuidos por todo el cuerpo. Sin embargo, en la naturaleza encontramos diversas posibilidades de recibir información mecánica del exterior.

Investiga la existencia de diferentes receptores táctiles entre los animales.

Comentarios A.53. Las posibilidades de encontrar receptores del tacto diferenciados y distintos a los de los humanos son muchas. A título de ejemplo podemos citar:

Las medusas poseen células especializadas con un filamento venenoso en su interior.

Los moluscos tienen tentáculos.

Los anélidos, sin ojos, poseen gran cantidad de pelos sensibles distribuidos por todo el cuerpo.

Los insectos disponen de sensilios (una o varias sedas conectadas a una célula nerviosa) distribuidos por antenas, patas y cuerpo.

Los peces poseen la ya conocida línea lateral...

A.54. Higiene de la piel

La piel es el órgano más extenso del cuerpo, ya que posee una superficie de 1,6 m² y un peso de 4 kg que conviene cuidar para que pueda realizar sus funciones con la mayor perfección posible.

Dada su extensión y su ubicación frontera del organismo, presenta diversos problemas que debemos tener en cuenta para su prevención. ¿Cuáles son? ¿Qué medidas de prevención puedes señalar para cuidar la piel?

Comentarios A.54. Los problemas más importantes de la piel son:

Los efectos nocivos de los rayos ultravioleta del sol. Aparte del bronceado, produce manchas y lunares que se pueden convertir primero en queratosis y luego en melanomas. Es conveniente seguir la regla ABCDE en la observación de los lunares (A=Aspecto, B=Borde, C=Color, D=Desarrollo o tamaño, E=Evolución o rapidez en los cambios).

El acné, que consiste en una hipersecreción de las glándulas sebáceas (por las hormonas andrógenas, por estrés, etc.), una obturación del poro de salida por un tapón de queratina, una proliferación bacteriana y una inflamación.

El mal olor corporal. Los restos celulares producto de la descamación de la piel, más el sudor y el polvo producen suciedad que se acumula en la piel. Si sobre ésta crecen las bacterias aparece el mal olor.

Ante estos y otros problemas típicos de la piel podemos señalar los siguientes consejos que permiten su protección, evitando así la aparición y evolución negativa de estos problemas:

Buena alimentación, equilibrada y variada.

Higiene corporal con ducha diaria.

Precaución con el sol. Para ello debemos usar cremas solares, gafas, gorras y evitar la sobreexposición directa.

Cremas hidratantes para evitar el agrietamiento de la piel.

Cambio de ropas y lavado frecuente para impedir el mal olor corporal.

Secar bien los pies para no ser atacados por los hongos.

Lavarse después de jugar con los animales mascotas.

Evitar la aparición de los piojos manteniendo las medidas higiénicas del cuero cabelludo lavándose el pelo varias veces a la semana y comprobando que no hay liendres.

A.55. Aplicaciones sociales

Ya sabemos en qué consiste y cómo funciona el sentido del tacto.

¿Qué aplicaciones socioculturales podemos encontrar a nuestros conocimientos relacionadas con el tacto?

Comentarios A.55. Entre las aplicaciones que podemos citar se encuentran:

EL ALFABETO BRAILLE. Las personas que no ven, desarrollan el sentido del tacto de tal modo que pueden “leer” a través de él. Por ello se ha inventado un abecedario especial que les facilita esta tarea.

LAS HUELLAS DACTILARES. Cada persona tiene unas huellas dactilares únicas y exclusivas formadas por las crestas y valles que la piel forma en la yema de nuestros dedos, lo cual sirve para su identificación.

“VER” CON EL TACTO. El sentido del tacto nos permite conocer las dimensiones y las formas que tienen los objetos y por ellas poder reconocerlos, sustituyendo de esta manera a la propia vista.

CONCLUSIONES Y RECAPITULACIÓN

A.56. Ubicación de las sensaciones

Constantemente estamos recibiendo información del mundo que nos rodea. Pero no nos limitamos a registrarla, sino que la experimentamos como sensaciones, “hacemos sentido” del mundo que nos rodea. Nuestros órganos de los sentidos –ojos, oídos, nariz, lengua y piel– reciben diversos tipos de energía de nuestro entorno, la transforman en impulsos nerviosos que viajan hasta el cerebro, el cual interpreta estos impulsos y los registra en nuestra consciencia (Jonas, 1999).

Los impulsos nerviosos de los diferentes órganos sensoriales son similares. El cerebro los distingue por el camino que siguen a través del sistema nervioso y por su destino en el cerebro. Los impulsos nerviosos procedentes del ojo provocarán una sensación visual incluso si el estímulo es diferente a la luz. Un golpe en el ojo, por ejemplo, hará que una persona vea “estrellas”.

Indica los diferentes caminos que siguen los estímulos que nos llegan del exterior hasta llegar al cerebro, especificando las áreas de recepción de dichos estímulos.

Comenta la frase del célebre filósofo alemán: “Nuestros sentidos no nos engañan, no porque siempre juzguen bien, sino porque nunca juzgan” E. Kant.

Comentarios A.56. Se trata de una actividad de resumen y conclusión en la que nos podemos detener en las diferentes áreas sensitivas del cerebro.

Cuando la luz entra en el ojo, el cristalino produce la focalización en la retina, la cual, a través de los conos, capta el color y gracias a los bastones capta la forma y el movimiento. La imagen formada en la retina es transformada en impulso nervioso que viaja al cerebro por el nervio óptico. Una vez llega a la zona óptica del cerebro, este impulso nervioso es transformado en una imagen visual que corresponde al mundo externo.

El oído externo dirige las ondas sonoras, que son básicamente vibraciones, hacia el tímpano que vibra en respuesta a ellas. Las ondas que produce el tímpano son transmitidas a la cadena de huesecillos del oído medio y éstos las comunican a la cóclea, caracol lleno de fluido, que las convierte en impulsos nerviosos y de esta manera viajan al cerebro a través del nervio acústico.

La lengua y la nariz responden a estímulos químicos. La lengua es nuestro órgano del gusto y los sabores se dividen en cuatro grupos básicos: dulce, salado, amargo y ácido. Las papilas gustativas detectan las sustancias químicas y el estímulo lo convierten en impulso nervioso que lo transmiten al cerebro a través del nervio gustativo. Los nervios de la parte delantera de la lengua envían información de la temperatura y del tacto al cerebro. El cerebro combina esta información con la procedente de las papilas gustativas. Ésta es la razón por la que la comida caliente sabe diferente de la comida fría.

Es difícil separar el gusto del olfato. Nuestro sentido del olfato es mucho más sensible que el del gusto y es muy importante para la memoria, pues una brizna de olor puede evocar grandes recuerdos. Los receptores del olor están localizados detrás y ligeramente por encima del puente de la nariz. Una persona con buen sentido del olfato puede percibir hasta 10.000 olores diferentes.

A través de nuestra piel percibimos el dolor, la temperatura y la presión. El sentido del tacto actúa como una señal de advertencia para el cuerpo. Cuando tocamos algo caliente, la señal va a la médula espinal y, sin pasar por el cerebro, se elabora la respuesta que se dirige directamente a los brazos para que retiren la mano en un movimiento que llamamos reflejo.

De alguna forma podemos decir que somos como son nuestros sentidos, pues todo nuestro aprendizaje, memoria y creatividad en la que se implica el cerebro se basa en nuestra percepción sensorial del mundo. También podemos decir que estamos solos con nuestros sentidos, pues nunca podemos saber si el color que vemos es el mismo que ven los demás, o si la canción que oímos les suena igual que a nosotros.

Sin embargo, como dice Kant, se requiere una estructura que traduzca, integre, memorice y elabore las respuestas adecuadas para poder sobrevivir y adaptarse, y ésta es el cerebro pensante. Las áreas cerebrales de recepción e integración de los estímulos sensitivos las podemos encontrar en el libro "El Cerebro" (1987).

A.57. Los sentidos como sistema de comunicación

Normalmente, los órganos de los sentidos sirven como elemento para la entrada de datos (input) del mundo exterior. Pero también sirven para emitirlos (output), formando parte del sistema de comunicación que tenemos con nuestro entorno.

El siguiente diálogo de Jenofonte, que pone en boca de Sócrates y su discípulo Parrasio, expresa la idea de la emisión de mensajes por los sentidos:

Sócrates: Lo que es más atractivo, más gracioso, más amable, más capaz de provocar añoranza y deseo del ser humano, la expresión moral del alma ¿cómo la representas?, ¿o no es representable?

Parrasio: ¿Cómo sería representable, Sócrates, no teniendo proporción determinada, ni color, no siendo, en una palabra, visible?

Sócrates: Pero, ¿no ocurre que en un mismo hombre las miradas expresan, ya sea amor, ya odio?

Parrasio: A mí me lo parecen.

Sócrates: Entonces, ¿esto no se podría representar en los ojos?

Señala de qué forma los órganos de los sentidos pueden emitir mensajes hacia el exterior.

Comentarios A.57. Son muchas las acciones de comunicación en las que los órganos de los sentidos intervienen como emisores de estímulos; entre ellas podemos señalar: los ojos con la mirada pueden expresar sentimientos o estados anímicos, el tacto con las caricias, los saludos, el olor con el perfume corporal que sirve de reconocimiento y atracción, el gusto al lamer, besar o mamar de los pequeños con la madre, son algunas de las acciones de los sentidos que emiten información hacia el exterior.

A.58. Recapitulación

Después de un trabajo tan extenso como el realizado es interesante preparar algún documento en el que se concreten las ideas más importantes.

Elaborar un mural de cada uno de los sentidos en el que aparezca lo más importante y lo que más haya llamado la atención.

Comentarios A.58. Para la realización de esta actividad, la clase se puede dividir en cinco grupos y cada uno de ellos centrarse en un sentido. Luego, puede haber una exposición al resto de la clase del trabajo efectuado.

Referencias bibliográficas en este programa de actividades

- AA.VV. (1987). *El Cerebro*. Barcelona: Ed. Prensa Científica, Col. Libros de Investigación y Ciencia.
- BARNES, R. (1979). *Zoología de los Invertebrados*. México: Ed. Interamericana.
- BERKALOFF, A., BOURGUET, J., FAVARD, P. y GUINNEBAULT, M. (1983). *Biología y Fisiología celular*. Barcelona: Ed. Omega, Col. Omega.
- BRAVO, B. y ROCHA, A. (2004). Aprendiendo sobre la luz y el color en segundo ciclo de enseñanza general básica *Revista de Educación en Ciencias*. Vol. 5(1), 43-46.
- COSTANZO, L. (1999). *Fisiología*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana Editores.
- DAWKINS, R. (1998). *Escalando el monte improbable*. Barcelona: Ed. Tusquets.
- DIXON, D. (1982). *Después del hombre. Una zoología del futuro*. Barcelona: Ed. Blume.
- ECKERT (1999). *Fisiología animal. Mecanismos y adaptaciones*. Madrid: cuarta edición, Ed. McGraw-Hill Interamericana.
- ESCHER, M. C y ESCHER, R. (1985). *Movimiento y metamorfosis. Un intercambio de cartas*. Ámsterdam.
- GIL, J., SUERO, M. I., PÉREZ RODRIGUEZ, A. L. y SOLANO, F. (2003). Preconcepciones en óptica: su persistencia en niveles universitarios. *Revista de Educación en Ciencias*. Vol. 4 (1), 17-20.
- GUYTON, A. (1998). *Tratado de Fisiología Médica*. Madrid: Ed. McGraw-Hill Interamericana.
- HILL, R. W. y WYSE, G. A. (1992). *Fisiología Animal*. Madrid: Ediciones Akal.
- JONAS, A. R. (1999). *Las respuestas y las preguntas de la ciencia*. Barcelona: Ed. Crítica.
- KANIZSA, G. (1986). Gramática de la visión. Percepción y pensamiento. Barcelona. Ed Paidós Comunicación.
- NETTER, F. H. (2003). *Atlas de Anatomía Humana*. Barcelona: Ed. Masson.
- ORS, M. (2004). Dar otro sentido a los sentidos. *Aula de Innovación Educativa*, 128, 31-33.
- PERALES, F. J. (1997). Escuchando el sonido: concepciones sobre acústica en alumnos de distintos niveles educativos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 233-244.
- PÉREZ RODRÍGUEZ, A. L., SUERO, M. I., PARDO, P. J. y GIL, J. (2003). Cómo hacer comprensibles los dibujos que suelen ilustrar la formación de imágenes *Revista de Educación en Ciencias*, Vol. 4(2), 70-73.
- PERLEMUTER, L. (1998). *Anatomo-fisiología*. Barcelona: Ed. Masson.
- SAURA, O. y DE PRO, A. (1999). ¿Utilizan los alumnos esquemas conceptuales en la interpretación del sonido? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 193-210.
- SECKEL, A. (2000). *La Mirada Fantástica*. Madrid: Ed. H. Kliczkowski.

Otras Voces

¿Cuál es la importancia de la educación científica en la sociedad actual?

Reflexiones y propuestas de Pedro Cañal en torno al capítulo 1

De acuerdo con el planteamiento y desarrollo de las ideas que se exponen en este capítulo, hay un aspecto básico sobre el que creemos interesante profundizar en la reflexión, y es el que se sugiere con la pregunta: ¿por qué hablar de alfabetización científica?, ¿qué añade dicha expresión a la de educación científica? Los autores abogan por la necesidad de *“ir más allá de la habitual transmisión de conocimientos científicos”*, suscribiendo la idea de que la educación escolar relativa a las ciencias debe concebirse como *“ciencia para todos”*, lo que implica dar un nuevo enfoque curricular a esta disciplina que permita no sólo el desarrollo generalizado de los principales aprendizajes conceptuales comúnmente perseguidos, sino también una adecuada aproximación a la naturaleza de la ciencia y de la práctica científica y poner énfasis en las relaciones ciencia-tecnología-sociedad-ambiente. Todo ello con el fin de hacer posible la participación de los ciudadanos en la deliberación y decisiones a adoptar ante los problemas socioambientales que surgen en la situación actual de creciente deterioro y emergencia planetaria que vivimos.

Ante las ideas anteriores, hemos de resaltar, en primer lugar, la pertinencia de un nuevo enfoque de la educación relativa a las ciencias, que considere la necesidad de abordar en clase problemas significativos, contextualizados en el entorno cotidiano. Unos problemas que, por su naturaleza, suelen desbordar los límites de las disciplinas científicas tradicionales y llevan a relacionar las perspectivas de la ciencia con las propias de otros campos de la cultura, como la tecnología, las ciencias sociales o los principios éticos, entre otros. Tales planteamientos integradores gozan ya de cierta tradición en la innovación pedagógica, pero su interés actual parece más reforzado cada día. En el ámbito de la didáctica de las ciencias se han puesto ya de manifiesto anteriormente en reflexiones y materiales de enfoque CTS y en diversos proyectos curriculares actuales, como INM (6-12) (Travé, Cañal y Pozuelos, 2003) o el Proyecto 2061 (A.A.A.S., 1993), tratando de proporcionar contextos de construcción del saber adecuados para ampliar la significatividad y las posibilidades de aplicación de los aprendizajes en múltiples situaciones vivenciales.

El desarrollo de la alfabetización científica reclama, desde este punto de vista, el diseño y puesta en práctica de propuestas expresamente encaminadas a promover la construcción de esquemas de comprensión y actuación en alguna medida transdisciplinarios, es decir, que estimulen a los escolares a considerar conjunta y coherentemente esquemas interpretativos, aproximaciones metodológicas y criterios axiológicos de diversa procedencia, pues todos ellos serán necesarios en el tratamiento de los nuevos problemas que se propone trabajar en clase.

Lo anterior no quiere decir, en modo alguno, que el desarrollo de los objetivos de la alfabetización científica exija adoptar opciones curriculares que diluyan o disminuyan la relevancia y especificidad de la formación científica. Por el contrario, de lo que se trata es de lograr un tipo de formación científica de mayor validez y ambición en sus planteamientos. Una formación que no resulte útil exclusivamente para el ámbito escolar, sino que también lo sea para el conjunto de los contextos de desenvolvimiento de los sujetos y que proporcione a los mismos, progresivamente, el estatus de personas científicamente alfabetizadas. Pero no sólo, como suele enfatizarse, a la hora de participar en las decisiones sociales, sino también en el ámbito de las actuaciones cotidianas personales, ante problemas de consumo, contaminación, relaciones personales, alimentación, salud, actividad política, etc., en las que también escasean frecuentemente las valoraciones y decisiones bien fundamentadas.

El avance de la cultura integrada que propugnamos, rechazando la vigencia de las barreras entre el humanismo clásico y la ciencia, y también entre conocimiento académico y conocimiento para la vida, no sólo exige, a nuestro entender, los cambios curriculares y didácticos antes mencionados, sino además un sólido compromiso de los profesionales implicados en la alfabetización científica en extender el predominio del pensamiento racional en todos los ámbitos en que éste ha demostrado su mayor utilidad para las personas, grupos e instituciones sociales.

Ante la persistencia e incluso expansión actual de formas de pensamiento y actuación irracionales o expresamente anticientíficas, de fuerte influencia en nuestro contexto social, creemos que estas posiciones constituyen un obstáculo de primer orden para el desarrollo de la alfabetización científica (Cañal, 2004). Aunque es evidente que las componentes no racionales de nuestra personalidad, pensamiento y actuación deben tener un amplio campo de expresión y valoración en terrenos como la literatura, el arte, el juego, la religión y otras muchas facetas humanas, no lo es menos que, en determinados ámbitos y situaciones, su presencia resulta en la actualidad claramente inconveniente y rechazable. Particularmente en aquellas circunstancias en que las personas o instituciones sociales tienen necesidad de conocimientos, criterios o pautas de actuación bien contrastados, que proporcionen una base sólida para tomar decisiones y actuar cuando es realmente importante elegir la mejor opción.

La consulta a un presunto adivino o vidente ante una decisión importante; el apoyo oficial a la organización de procesiones o rogativas para combatir la sequía; la negativa de muchos gobiernos a aceptar que personas de un mismo sexo puedan firmar contratos matrimoniales; el hecho de que muchas personas eviten viajar los días 13 de cada mes o crean firmemente en la relevancia de su fecha de nacimiento o su buena o mala suerte, como factor causal en la explicación de lo que les pueda suceder; la prohibición o el rechazo de la investigación sobre clonación terapéutica aduciendo que resulta antinatural o atenta contra la vida, etc., son ejemplos, junto con otros muchos, de situaciones que

indican la pervivencia de creencias infundadas y de prácticas irracionales que deberían disminuir su presencia, hasta desaparecer, pues en nada pueden contribuir a aumentar la validez y eficacia contrastada de nuestras actuaciones ante los problemas individuales y colectivos que hemos de afrontar.

Por último, en síntesis, subrayar que es obvio que la alfabetización científica no persigue que los ciudadanos posean los mismos conocimientos especializados que los científicos, sino lograr que la componente científica de nuestro saber y nuestra actuación se desarrolle suficientemente y en forma relacionada con otras, para lograr las claves que nos permitirán conseguir perspectivas integradas de los problemas, así como respuestas más autónomas y racionalmente fundamentadas. Un objetivo del que, por cierto, no quedan exentos los propios científicos, encerrados a veces en visiones reduccionistas de los complejos problemas socioambientales e incapaces de desbordar el estrecho marco de su especialización. Y también, en ocasiones, férreamente apegados y fieles a criterios ajenos a la propia racionalidad de la ciencia.

Referencias bibliográficas en estos comentarios al capítulo 1

A.A.A.S. (1993). Avances en el conocimiento científico. www.project2061.org

CAÑAL, P. (2004). La alfabetización científica: ¿necesidad o utopía? *Cultura y Educación*, en prensa.

TRAVÉ, G., CAÑAL, P. y POZUELOS, F. J. (2003). Proyecto curricular Investigando Nuestro Mundo (6-12). *Investigación en la Escuela*, 51 (monográfico sobre este proyecto).

Otras Voces

¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos?

Reflexiones y propuestas de Andoni Garritz en torno al capítulo 2

Resulta innegable que es necesario remontar este conjunto de visiones deformadas acerca de la ciencia y la tecnología para enfrentarnos con éxito a una educación científica con tintes de modernidad, que encare con conocimiento de causa el rechazo a la educación científica. El problema es el gran cúmulo de lecturas que requieren las profesoras y los profesores para lograr esta nueva visión de la ciencia. Además, son éstas unas lecturas del campo de la filosofía y la historia de la ciencia, es decir, de una cierta dificultad para el profesorado. De aquí el valor de esta síntesis presentada en el segundo capítulo de esta obra.

Es una idea extraordinaria presentar este libro como un "*libro-taller*", con el uso de "*propuestas de trabajo*". Así se involucra a los lectores de una forma protagónica y se sugieren discusiones que merecen la atención del colectivo de profesores.

Ahora bien, yo incluiría dentro de las visiones deformadas de la ciencia la concepción histórica previa a Thomas Kuhn, quien la caracteriza como la acumulación de conocimientos que gradualmente y de forma paulatina van incorporándose al bagaje de la ciencia: "El desarrollo científico se convierte en el proceso gradual mediante el que los conceptos han sido añadidos, solos y en combinación, al caudal creciente de la técnica y de los conocimientos científicos, y la historia de la ciencia se convierte en una disciplina que relata y registra esos incrementos sucesivos y los obstáculos que han inhibido su acumulación" (Kuhn, 1962, p. 21). La obra de Kuhn está ciertamente citada en este capítulo, pero no se profundiza sobre ella. Por ello es que pienso que sea de provecho para los lectores contar con una formulación que intente ofrecer una visión sintética (basada en Pérez Ransanz, 1999).

La tesis kuhniana

Se parte de la base de que las diversas disciplinas científicas se comportan de acuerdo con un patrón general. Dicho patrón comienza con una etapa “preparadigmática”, en la cual coexisten diversas escuelas que compiten entre sí por el dominio del campo. Entre las escuelas existe muy poco acuerdo con respecto a la caracterización de los objetos de estudio, los problemas que hay que resolver, las técnicas y procedimientos que han de utilizarse, etc. Este período termina cuando el campo de investigación se unifica bajo la dirección de un mismo marco de supuestos básicos, que Kuhn llama “paradigma”. Los diversos investigadores llegan a la conclusión de que uno solo de los enfoques competidores es tan prometedor que abandonan los demás y lo adoptan como la base de su propia investigación.

El consenso alrededor de un paradigma marca el inicio de una etapa de “ciencia normal”, en la que los científicos parten del paradigma y resuelven cada vez problemas más complejos, haciendo del enfoque teórico del paradigma aceptado algo más preciso y mejor articulado. Durante la investigación “normal” el marco de supuestos básicos (el paradigma) no se considera problemático ni sujeto a revisión, se acepta sin discusión.

Contrariamente a sus propósitos, la investigación normal, con su creciente especialización y extensión del campo de aplicaciones, conduce, tarde o temprano, al planteamiento de problemas o anomalías que se resisten a ser resueltos con las herramientas conceptuales o instrumentales del paradigma establecido. Al surgir estas anomalías puede empezarse a pensar que algo anda mal en el fondo y que sólo un cambio en los supuestos básicos permitirá encontrar una solución. Esta etapa en la que se pone en duda la eficacia y la corrección del paradigma vigente es la etapa “de crisis”.

Con la crisis comienza la ciencia “extraordinaria”, esto es, la actividad de proponer estructuras teóricas alternativas que implican un rechazo o una modificación de los supuestos aceptados hasta entonces. En estos períodos en que, como dice Kuhn, “los científicos tienen la disposición para ensayarlo todo”, proliferan las propuestas alternativas. El período de crisis termina de alguna de las siguientes maneras (Hoyningen-Huene, 1993): 1) el paradigma en tela de juicio se muestra finalmente capaz de resolver los problemas que provocaron la crisis; 2) ni los enfoques más radicalmente novedosos logran dar cuenta de las anomalías, por lo cual éstas se archivan en espera de una etapa futura, en la que se cuente con mejores herramientas conceptuales e instrumentales; 3) surge un paradigma alternativo que parece ofrecer una solución a las anomalías, y comienza la lucha por lograr un nuevo consenso.

Kuhn describe un cambio de paradigma como una “revolución científica”. Al describirlo como “una revolución”, Kuhn cuestiona que la elección entre teorías rivales sea una cuestión que pueda resolverse mediante algún procedimiento efectivo (o algorítmico) de decisión. Es decir, se trata de una elección que no se puede resolver apelando exclusivamente a la lógica y la experiencia neutral. Los cuerpos de conocimiento separados por una revolución son “inconmensurables”, esto es, no son completamente traducibles entre sí. Las diferencias que acompañan a la inconmensurabilidad son diferencias en los compromisos básicos de los paradigmas: diferencias en los criterios sobre la legitimidad y el orden de importancia de los problemas; diferencias en las leyes que se consideran como fundamentales; diferencias en la red de conceptos a través de la cual se estructura el campo de investigación y se organiza la experiencia; diferencias en los supuestos sobre qué entidades y procesos existen en la naturaleza, y diferencias en los criterios de evalua-

ción de la teoría. Este aspecto de la inconmensurabilidad ha sido integrado recientemente a las ciencias de la educación, dentro de la teoría del cambio conceptual, ya que las concepciones alternativas de los alumnos resultan inconmensurables con las científicas y esto hace difícil su transformación (Hoyningen-Huene y Sankey, 2001).

Después de una revolución aparece un nuevo paradigma que vuelve a ser aceptado por la comunidad científica, y se empieza de nueva cuenta una etapa de ciencia normal. Así, una vez que una disciplina ha entrado en su madurez, pasa repetidamente a través de la secuencia: ciencia normal-crisis-revolución-nueva ciencia normal.

Otras ideas

Como otra contribución al debate sobre estas visiones deformadas de la ciencia y la tecnología, quiero simplemente agregar algunas referencias bibliográficas.

Para empezar, un segundo libro de Alan F. Chalmers (1992), además del de 1982, en el que pone énfasis en los problemas del método y plantea una dimensión política y social de la ciencia. Este autor resulta de una claridad extraordinaria, en sus primeros capítulos al menos, por lo que es muy recomendable su lectura.

Otra discusión interesante sobre el método científico es la de Ruy Pérez Tamayo (1998), autor que resulta ser también sumamente legible y que resume de forma magistral los trabajos de Bridgman, Eddington, Popper, Lakatos, Kuhn y Feyerabend.

Sobre aspectos de la discusión de ciencia vs. tecnología recomiendo los trabajos de León Olivé (1985), de José Antonio López Cerezo (1998) y de José Antonio Acevedo (1997, 1998).

Referencias bibliográficas en estos comentarios al capítulo 2

ACEVEDO, J. A. (1997). "Cómo puede contribuir la Historia de la Técnica y de la Tecnología a la educación CTS". En R. Jiménez y A. Wamba, Eds. *Avances en la Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp. 287-292. Huelva: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva. Una versión electrónica de este artículo puede consultarse en <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo3.htm>.

ACEVEDO, J. A. (1998). Tres criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología. En E. Banet y A. de Pro (Eds.), *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*. Vol I. DM Murcia, 7-16. Una versión electrónica de este artículo puede consultarse en <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo12.htm>.

CHALMERS, A. F. (1982) *¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Una valoración de la naturaleza y el estatuto de la ciencia y sus métodos*. México: Siglo XXI Editores.

CHALMERS, A. F. (1992) *La ciencia y cómo se elabora*. México: Siglo XXI Editores.

HOYNINGEN-HUENE, P. y SANKEY, H. (Eds.) (2001). *Incommensurability and Related Matters*, V. 216, Boston: Boston Studies in the Philosophy of Science.

HOYNINGEN-HUENE, P. (Editor) (1993). *Reconstructing Scientific Revolutions*. Thomas S. Kuhn's Philosophy of Science. Chicago: The University of Chicago Press.

KUHN, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press. En español (1971). *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.

LÓPEZ CEREZO, J. A., LUJÁN, J. L. Y GARCÍA-PALACIOS, E. M. (Eds.) (1998). *Filosofía de la tecnología*. Madrid: Organización de Estados Iberoamericanos, Colección "Temas de Iberoamérica".

OLIVÉ, L. (1985). Conocimiento, producción y explotación. *Investigación humanística*, 79-99. México: UAM-I.

PÉREZ RANSANZ, A. R. (1999). *Kuhn y el cambio científico* México: Fondo de Cultura Económica.

PÉREZ TAMAYO, R. (1998). *¿Existe el método científico?* México: Fondo de Cultura Económica, Colección "La ciencia para todos" n° 161.