Capítulo 18

LA BIODIVERSIDAD VA A LA ESCUELA

Jorge V. Crisci[1]
y
Liliana Katinas
Museo de La Plata, Argentina

1. INTRODUCCION

Hagamos un viaje al pasado, 3.500 millones de años atrás. La Tierra se había formado hacía 1000 millones de años, la atmósfera carecía de oxígeno. Eran tiempos violentos: los relámpagos de intensas tormentas eléctricas y las erupciones volcánicas eran comunes. Allí, en algún momento se originó la vida: una compleja asociación de moléculas persistieron más tiempo y gradualmente adquirieron la habilidad de reproducirse. Era el primer paso en la historia de la biodiversidad. Este momento extraordinario cambió profundamente al planeta y a su atmósfera.

Durante estos 3.500 millones de años, millones y millones de especies aparecieron (y muchas también desaparecieron). Todos los seres vivientes que existen (o existieron) están hermanados al compartir ese precioso momento del origen de la vida. Cada organismo guarda en su memoria genética el sonido del trueno que acunó la vida y comparte esa memoria con el resto de la biodiversidad. Pero, al mismo tiempo, cada especie es única y un valioso experimento de la naturaleza.

La biodiversidad es la variedad y variabilidad que existe entre los seres vivos y los complejos ecológicos que estos habitan. La diversidad puede definirse como el número de diferentes ítems y su frecuencia relativa. En el caso de la diversidad biológica, estos ítems están organizados en varios niveles, que van desde ecosistemas completos a las estructuras químicas que son la base de la herencia. Así, el término abarca diferentes ecosistemas, especies, genes, y su relativa abundancia.

Las estimaciones del número de especies en la Tierra varían desde 3 a 100 millones. La Convención de la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas indica que hay unos 13 millones de especies, de las cuales 1,75 millones ya han sido descriptos.

[1]Email: jcrisci@netverk.com.ar

La Lista Roja 2008 de especies en peligro de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, UICN (este tema no figura en la lista de 2009) arroja un número actualizado de 1,8 millones de especies descriptas de un estimado de 5 a 30 millones de especies existentes.

Hoy este tesoro biológico está enfrentando tiempos de ruina y devastación. Se está perdiendo biodiversidad en todo el mundo en una escalada epidémica de extinciones.

Una acción efectiva para conservar y hacer un uso sustentable de la biodiversidad debe estar basada en información científica apropiada. La sistemática biológica es una de las principales herramientas que tiene la ciencia para trazar un mapa de la biodiversidad.

La sistemática biológica es una disciplina científica multidimensional que describe, nombra, clasifica y determina las relaciones entre los miembros de la biota de la Tierra. Cumple estas tareas interdependientes mediante estudios, inventarios, colecciones, descripciones de especies, reconstrucciones filogenéticas, clasificaciones jerárquicas, monografías y la aplicación de las reglas de nomenclatura. Todas estas actividades, excepto la reconstrucción filogenética, son llevadas a cabo por la subdisciplina denominada taxonomía.

Para impedir la extinción de las especies, el primer paso es conocerlas científicamente: su ubicación sistemática, distribución geográfica, ecología, y hasta qué grado es vulnerable a los cambios ambientales. La sistemática biológica tiene un papel importante para proveer esta información. Sin la sistemática biológica, los ecólogos y los conservacionistas no saben qué especies existen en qué ecosistemas, y no pueden descubrir cuáles son prósperas y cuáles están en riesgo de extinción. La ciencia de la sistemática biológica, por lo tanto, es una disciplina vital que apuntala la conservación de la biodiversidad de la Tierra (*House of Lords*, UK, 2002, *Select Committee on Science and Technology, 3rd report*). Una comprensión de la sistemática y de su papel en el mantenimiento de la diversidad entonces es un objetivo importante de la educación en biología.

Los objetivos de esta presentación son justificar la necesidad de llevar la biodiversidad a la escuela mediante la enseñanza de la sistemática biológica, y presentar y evaluar dos intentos exitosos.

2. ¿POR QUÉ LLEVAR LA BIODIVERSIDAD A LA ESCUELA?

El evento de extinción en masa que estamos presenciando es el más catastrófico en los últimos 65 millones de años. Y más importante, es el primer evento de extinción que es causado por una única especie, *Homo sapiens*. El hecho que una especie sea

tan eficiente en reproducirse y en dominar a todas las otras formas de vida pone en peligro la existencia de todas las especies, incluso la propia.

La tasa actual de extinción de especies es muchas veces más alta que la tasa natural, que prevaleció a lo largo de los períodos geológicos de tiempo. La tasa natural de extinción varía, pero sobre la base del registro fósil se estima que en mamíferos y aves se perdió una especie cada 500 a 1000 años. De acuerdo al *Global Environment Outlook 4*, actualmente la extinción de especies está ocurriendo 100 veces más que la tasa natural, y se espera que aumente entre 1000 y 10.000 veces respecto a la tasa natural en las próximas décadas. La IUCN considera que la tasa actual de extinción sería tan alta como 10.000 veces la tasa natural.

La desaparición actual de la biodiversidad está dada por cinco factores principales: la pérdida de hábitats, la sobreexplotación, la invasión de especies exóticas, la contaminación y el cambio climático. Estos cinco factores constituirían las causas obvias e inmediatas del desgaste biótico, pero fundamentalmente estas causas están enraizadas en la condición humana contemporánea. Entre estas causas se hallan el crecimiento poblacional, la pobreza, el antropocentrismo, las transiciones culturales, falta de conocimientos científicos y las fallas en la planificación y la inhabilidad de los estados modernos para crear leyes e implementar políticas de conservación.

La pérdida de la biodiversidad debe ser un tema de preocupación para todos por cinco razones básicas: 1) la responsabilidad moral de proteger a los que son nuestros únicos compañeros en el universo; 2) la compensación estética que como humanos ganamos de estos compañeros; 3) los enormes beneficios, directos e indirectos, que la humanidad ha obtenido de la biodiversidad; 4) los servicios esenciales que proveen los ecosistemas naturales, de los cuales las diversas especies son las partes funcionales clave, y 5) el obstáculo científico que la pérdida de la biodiversidad produce en nuestra capacidad para comprender los fenómenos y los procesos biológicos.

En 2002 en Johannesburg, los líderes del mundo acordaron lograr una reducción significativa de la tasa de pérdida de la biodiversidad para el 2010. Habiendo revisado toda la evidencia posible, incluyendo los reportes nacionales enviados por las Partes, la tercera edición de la *Global Diversity Outlook* lanzada en mayo de 2010 por la Convención de la Diversidad Biológica, se concluyó que el objetivo no había sido alcanzado. Además, las presiones principales que conducen a la pérdida de la biodiversidad no sólo eran constantes, sino que en algún caso se habían intensificado. Las consecuencias de esta falla colectiva, si no son rápidamente corregidas, serán severas para todos nosotros. La biodiversidad apuntala el funcionamiento de los ecosistemas de los cuales nosotros dependemos para el alimento y agua fresca, salud y recreación, y protección de los desastres naturales. Su pérdida también nos afecta, cultural y

espiritualmente. Esto quizás es más difícil de cuantificar, pero es no obstante esencial para nuestro bienestar.

La Asamblea General de las Naciones Unidas declaró a 2010 el Año Internacional de la Biodiversidad (*International Year of Biodiversity*, IYB) en coincidencia con el plazo establecido por los Gobiernos en 2002 para lograr una reducción significante en la pérdida de la diversidad de especies y de ecosistemas del planeta.

En el lanzamiento oficial del Año Internacional de la Biodiversidad en enero de 2010 en Berlín, la canciller alemana Angela Merkel estableció que "necesitamos un cambio de tendencia, no en algún momento del futuro, sino inmediatamente" y agregó que "nuestra vida está en la Biodiversidad".

En octubre de 2010 tuvo lugar en Nagoya, en la prefectura de Aichi en Japón el décimo encuentro de la Conferencia de las Partes para la Convención sobre Diversidad Biológica (COP 10). Las Partes se encontraron en Nagoya para negociar un nuevo acuerdo sobre conservación de la biodiversidad. Una de las conclusiones del encuentro fue que la diversidad de genes, especies y de ecosistemas continúa declinando mientras que las presiones sobre la biodiversidad permanecen constantes o aumentan en intensidad, principalmente como resultado de la acción humana. Se adoptó un Plan para la Biodiversidad 2011-2020 para promover una implementación efectiva de la Convención mediante un enfoque estratégico. La misión de este enfoque es tomar una acción efectiva y urgente para detener la pérdida de la biodiversidad en orden de asegurar para el 2020 que los ecosistemas sean resistentes y continúen aportando servicios esenciales, asegurando así la variedad de vida en el planeta y contribuyendo al bienestar humano y a la erradicación de la pobreza.

Las tendencias actuales nos están acercando a un número potencial de puntos de inflexión que podrían catastróficamente reducir la capacidad de los ecosistemas para proveer estos servicios esenciales. Los pobres, quienes tienden a ser los que más dependen de ellos, sufrirían primero y más severamente las consecuencias de su pérdida. Están en juego los principales objetivos delineados por el *Millenium Development Goals*: seguridad en el alimento, erradicación de la pobreza y una población más saludable.

La conservación de la biodiversidad contribuye críticamente para moderar la escala del cambio climático y para reducir sus impactos negativos haciendo a los ecosistemas- y entonces a las sociedades humanas- más resistentes. Es por lo tanto esencial que los desafíos relacionados con la biodiversidad y con el cambio climático sean abordados de forma coordinada y se les dé igualdad de prioridades.

Necesitamos una nueva visión de la diversidad biológica para un planeta saludable y para un futuro sustentable para la humanidad.

3. ¿POR QUE LA SISTEMÁTICA BIOLÓGICA?

La sistemática fue alguna vez la orgullosa bandera de las ciencias naturales. Charles Darwin, el fundador de la teoría de la selección natural, que trabajó en Cirripedia (percebes) en el siglo 19 y Willi Hennig, el fundador de la reconstrucción filogenética que trabajó en Díptera (moscas) fueron taxónomos practicantes. Sin embargo, en los últimos 30 años la taxonomía ha tenido una pérdida de credibilidad entre los científicos. Este problema de imagen está basado en conceptos erróneos sobre cómo trabaja la taxonomía. La visión de que la taxonomía es puramente una rama descriptiva del conocimiento que consiste sólo en observaciones es un claro ejemplo de estos conceptos erróneos. De hecho, la taxonomía es una disciplina científica que requiere de la descripción, pero también de rigor teórico, empírico y epistemológico, de un enfoque basado en las hipótesis, y de experiencia de campo y de laboratorio.

El *Homo sapiens* es por naturaleza un animal que clasifica. Nuestra continua existencia depende de nuestra habilidad para reconocer las similitudes y diferencias entre los objetos y los eventos en nuestro universo físico, y en comunicar estas similitudes y diferencias lingüísticamente. Los sistemas de clasificación no son únicos.

Dado un conjunto de objetos, los requerimientos lógicos de una clasificación pueden cumplirse mediante una inmensa serie de soluciones alternativas. El problema no es clasificar, sino hallar buenas razones para seleccionar una solución en particular. Científicamente, un esquema de clasificación es mejor que otro si es más fructífero en sugerir leyes científicas y en generar mejores hipótesis explicativas. Una condición para producir una clasificación con poder explicativo es la existencia de un sistema generativo responsable de los atributos observados. El sistema generativo de la biodiversidad es la evolución biológica. Los objetivos de la evolución biológica son: 1) Descubrir la historia de la vida (= filogenia); y 2) investigar los procesos para rescatar esa historia. La evolución explica y la sistemática refleja la unidad y la diversidad de las especies.

Además, los sistemas de clasificación son hipótesis del orden en la naturaleza (Figura 1). Un taxón, la unidad básica de la taxonomía, es un sistema de clasificación y como tal es una hipótesis científica sobre el orden en la naturaleza. Como toda hipótesis científica, un taxón va más allá de la evidencia (observaciones) de la cual pretende dar cuenta. Esto es, un taxón posee un mayor contenido científico (por ej., capacidad predictiva y poder explicativo) que las proposiciones empíricas que éste cubre. Esta hipótesis-taxón, una vez que su contenido científico es puesto a prueba y corroborado, permite a los científicos estudiar aspectos de la biología más allá de la sistemática (ecología, biogeografía, fisiología comparada, morfología comparada, genética, conservación, etc.). La ubicación de géneros y

especies en categorías taxonómicas mayores (Tabla 1) también es importante por su valor predictivo con respecto a los atributos fisiológicos y ecológicos, porque especies del mismo género, o géneros de la misma familia, tienden a tener similares historias de vida, características de crecimiento y conducta, respuestas fisiológicas, productos bioquímicos, huéspedes o sustratos.

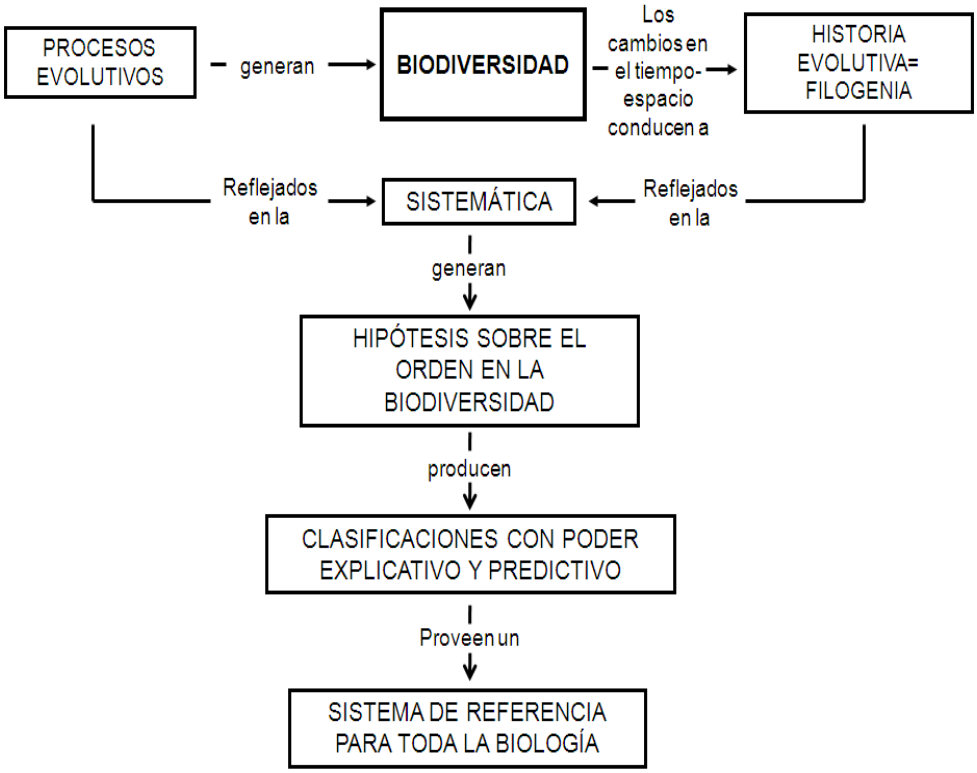

Figura 1. Mapa de conceptos, mostrando a la sistemática biológica como una de las principales herramientas que tiene la ciencia para trazar el mapa de la biodiversidad.

Tabla 1
Sistema jerárquico de la Sistemática Biológica
mostrada mediante un ejemplo de la especie humana (*Homo sapiens*).

CATEGORÍAS	**TAXONES**
Especie	Homo sapiens
Género	Homo
Familia	Hominidae
Orden	Primates
Clase	Mammalia
Filum	Chordata
Reino	Animalia

Tomemos como ejemplo la "mosca de la fruta", *Drosophila melanogaster*, nombrada y descripta por primera vez por J. W. Meigen en 1380. La hipótesis de Meigen sobre el orden en la naturaleza tiene poder predictivo y explicativo el cual fue usado por los genetistas cuando estudian unos pocos individuos pero asumen que sus resultados son válidos para todos los miembros (pasados, presentes y futuros) de la especie *Drosophila melanogaster*.

Describir y clasificar a todas las especies vivientes del mundo merece ser uno de los grandes objetivos científicos del nuevo siglo. En ciencia aplicada, esto se necesita para una conservación efectiva de los recursos naturales, para la bioprospección, y para los estudios de impacto del cambio ambiental. En ciencia básica, un mapa completo de la biodiversidad es un elemento clave en el avance de la ecología, especialmente para la comprensión del funcionamiento y la estructura de los ecosistemas.

4. ¿POR QUÉ LA EDUCACIÓN?

El problema de la biodiversidad plantea nuevos desafíos a los sistemas educativos: cómo pueden las escuelas preparar estudiantes, ciudadanos del mañana, que sean más sensibles a la pérdida de especies y que comprendan el papel de las especies, especialmente a través de la sistemática, en mantener la biodiversidad.

Koïchiro Matsuura, Director General de la UNESCO en 2000 dijo: "Se necesita un mayor esfuerzo en la educación sobre la diversidad biológica para crear un conciencia pública mundial de los temas en juego. Sólo una población educada sobre la biodiversidad puede ejercer la presión necesaria para asegurar el camino hacia un futuro sustentable."

Esta es una crisis global que requiere un componente educativo entre sus soluciones. Los objetivos de la educación en sociedades democráticas deben ser sensibles a estos temas.

Sara Michaels y sus colegas establecieron que entre los objetivos importantes de la educación en ciencia está la introducción de los estudiantes a los métodos de la ciencia y a los hábitos mentales que cultiva la indagación científica. Las preguntas y los métodos de la sistemática proveen a los estudiantes de numerosas oportunidades para encontrar la naturaleza de la ciencia- para ver la ciencia como una forma única y poderosa de indagación que proporciona explicaciones racionales a nuestras observaciones sobre el mundo natural.

Qué le depara el futuro a los seres humanos y al mundo depende en gran medida de la sabiduría con que los humanos usen la ciencia y la tecnología. Y ello, a su vez, depende del carácter, la distribución y la eficiencia de la educación que recibe la gente.

Subyacente a todas nuestras conclusiones y recomendaciones está la redefinición de un nuevo marco de lo que significa ser alfabetizado en ciencia. Este marco descansa en la visión de la ciencia como un cuerpo de conocimientos y como una empresa basada en la evidencia, generadora de modelos que continuamente extiende, refina y revisa el conocimiento. Este marco va más allá de la dicotomía entre el contenido del conocimiento o las habilidades de los procesos porque contenidos y procesos están inextricablemente ligados en ciencia pues ésta:

1. conoce, usa e interpreta las explicaciones científicas del mundo natural;
2. genera y evalúa las explicaciones y la evidencia científica;
3. comprende la naturaleza y el desarrollo del conocimiento científico; y
4. participa productivamente en el discurso y las prácticas científicas.

Estos representan objetivos de aprendizaje para los estudiantes y un amplio marco para el diseño curricular. Comprenden al conocimiento y las habilidades de razonamiento que los estudiantes deben adquirir para ser competentes en ciencia y, en última instancia, capaces de participar en la sociedad como ciudadanos alfabetizados científicamente. También incorporan las prácticas científicas en las cuales los estudiantes necesitan demostrar su competencia. El proceso de adquirir competencia en ciencia involucra los cuatro objetivos, el avance en uno de ellos colabora en el avance de los otros.

La enseñanza debería ser consistente con la naturaleza de la indagación científica, esto significa reemplazar la memorización rutinaria como un objetivo tradicional de enseñanza y enfatizar la indagación reflexiva y la toma de decisiones. Este enfoque alienta a los estudiantes a ver a la ciencia como un proceso de

aprendizaje continuo y relevante y también como un cuerpo de información y de teorías disponibles. Los estudiantes deben comprender y apreciar la naturaleza tentativa de la ciencia, su importancia y el impacto que tiene en sus vidas.

La educación es una herramienta de manejo esencial que reconoce el rol central que tiene la gente en los esfuerzos de la conservación de la naturaleza. Incluso, aunque un objetivo de conservación debe estar enfocado a un problema biológico, las estrategias efectivas de conservación deben incorporar comunicación y programas educacionales diseñados para afectar el conocimiento, las actitudes y las conductas hacia los recursos naturales y el manejo de la tierra.

5. INTENTOS PREVIOS EXITOSOS DE LLEVAR LA BIODIVERDIDAD A LA ESCUELA

5.1. Orden y diversidad en el mundo viviente: Enseñando taxonomía y sistemática en las escuelas

Jorge Crisci y colegas desarrollaron en 1993 un documento cuyos objetivos fueron:

1) Crear una visión coherente de lo que significa ser un alfabetizado en sistemática en un mundo donde la biodiversidad es considerada un recurso global que debe ser estudiado, usado y por sobre todo conservado; y en un mundo donde la sistemática provee un marco para analizar la diversidad biológica poniendo ese conocimiento en una forma más accesible.
2) Establecer un conjunto de normas para guiar la revisión de la currícula escolar en sistemática biológica.
3) Proveer ejemplos de enseñanza en la clase que sean consistentes con las normas arriba mencionadas, que se ocupen de la sistemática y de la biodiversidad, y que puedan ser adaptados para cumplir con las necesidades de los maestros y de los estudiantes en el mundo.
4) Discutir la necesidad de una narración o relato que motive e inspire y ayude a comprender la necesidad de llevar la biodiversidad a la escuela.

   La educación sobre sistemática debe desarrollar en los estudiantes un aprecio por la sistemática como una disciplina que responde a las siguientes preguntas:

   a. ¿Por qué deberíamos estudiar sistemática?

   b. ¿Cuántos grupos diferentes de organismos existen en la Tierra?

c. ¿Cómo podemos organizar esta diversidad para así poder comprenderla mejor?
d. ¿Cómo definimos, nombramos e identificamos a los organismos?
e. ¿Cómo puede nuestro sistema de organización incorporar nueva información?
f. ¿Cómo se relacionan los organismos en la Tierra?
g. ¿Cuáles son los factores que resultan en un incremento y/o reducción en la diversidad y qué rol juegan las personas en este proceso?

Los estudiantes deben comprender que nuestro sistema de clasificación es una construcción humana que muta. Los organismos no llegan al mundo como miembros de un *phylum*, de un género o de una especie. Son los humanos quienes los sitúan en categorías- y dentro del contexto de esquemas clasificatorios mayores - sobre la base del conocimiento actual y de las perspectivas de quienes designaron los sistemas de clasificación. A medida que nuestro conocimiento en genética, evolución, anatomía, desarrollo reproductivo, energética y otras disciplinas aumenta, debemos reorganizar el sistema de clasificación, como se hizo evidente en el aumento de tres a cinco reinos en las últimas dos décadas. Esta es una importante lección para los estudiantes porque demuestra la dinámica de la naturaleza de la ciencia y el papel de las múltiples hipótesis que compiten entre sí en el progreso científico. Esta, incluso, debería ser una de las lecciones más importantes para la educación en sistemática.

Con ese fin, las aulas se convierten en lugares donde los estudiantes regularmente exploran problemas interesantes usando importantes herramientas biológicas. Nuestra premisa es que lo que aprende un estudiante dependa en gran medida de *cómo* él o ella lo ha aprendido.

La necesidad de un nuevo enfoque en la enseñanza de la sistemática.

Hay una clara necesidad de reforma curricular en la sistemática biológica dirigida a las escuelas. Tal reforma debe abordar tanto el contenido curricular como el modo de instrucción. El currículo actual a menudo falla en fomentar la percepción biológica, el razonamiento y la resolución de problemas, y las actividades interactivas. Muy frecuentemente en la enseñanza de la sistemática, los estudiantes se convierten en recipientes pasivos de nombres sin sentido y de información, en lugar de participantes activos en desarrollar y comprender los conceptos principales.

Un currículum apropiado para niños, que refleje estos objetivos generales, debe involucrar a los niños en el proceso de hacer sistemática. Los niños son individuos activos que construyen, modifican e integran ideas mediante la interacción con la naturaleza, los materiales y con otros niños. Los niños deben ser

alentados para explorar, describir, nombrar, discutir, investigar, desarrollar, construir y predecir.

El aprendizaje activo tiene muchas implicancias para la educación en sistemática. Primero, los maestros deben crear un ambiente que aliente a los niños a explorar, nombrar y discutir la naturaleza y la biodiversidad. Los maestros necesitan escuchar cuidadosamente a los niños y guiar el desarrollo de sus ideas. Necesitan hacer un uso extensivo y meditado del uso de los organismos alrededor de la escuela para fomentar el aprendizaje de ideas abstractas tales como diversidad de la vida y el concepto de especie. El maestro debe agudizar el poder de observación de los niños.

Segundo, el currículum debería enfatizar el desarrollo del pensamiento clasificatorio y las habilidades de razonamiento de los niños. El currículo debe tomar seriamente el objetivo de instilar en los estudiantes un sentido de confianza en su habilidad para clasificar, detectar patrones, y ver los esquemas de clasificación como hipótesis sobre la naturaleza.

Tercero, el currículum debería enfatizar la aplicación de la sistemática. Si los niños deben ver a la sistemática como un tema práctico y útil, deben comprender que ésta se puede aplicar a una gran variedad de problemas y de fenómenos que tienen alguna significación para ellos. Los niños también necesitan comprender que la sistemática es una parte integral de la biología.

Normas del currículum. Las normas ayudan a asegurar la calidad de la currícula, direccionan hacia el logro de los objetivos, y así promueven los cambios educativos y la comprensión de estos cambios. Hay dos características principales incorporadas en cada una de las normas. Primero, conocer la sistemática es "hacer" sistemática. Los estudiantes descubren o crean conocimiento al realizar actividades. Segundo, el valor de la información radica en la medida en que es útil en el curso de alguna actividad que tenga una finalidad.

Ejemplos de normas (edad 6-12)

El estudio de la biodiversidad a los 6-12 años de edad incluye numerosas experiencias con organismos vivos de grupos diversos, de manera que los estudiantes pueden:

- Distinguir lo viviente de lo no-viviente.
- Observar similitudes y diferencias entre los objetos y los organismos.
- Desarrollar esquemas simples de clasificación.
- Relacionar los organismos entre sí.
- Verse a sí mismos como una parte de la biodiversidad de la Tierra.
- Comprender que la biodiversidad es una parte vital de nuestra vida cotidiana.

Enfoque

Desde los primeros grados, el currículum debe dar a los estudiantes las oportunidades para concentrarse en las similitudes y las diferencias entre los objetos. Los niños deberían empezar a ver que las similitudes son la esencia de las clasificaciones. La idea de las relaciones puede desarrollarse intuitivamente mediante la observación de las similitudes y las diferencias. Los niños podrían usar materiales físicos, gráficos y una variedad de organismos para reconocer y crear clasificaciones y relaciones. Esta experiencia construye la preparación para una visión general de la sistemática.

Un salón de clase puede convertirse en un ambiente rico en el cual estudiar la clasificación. Un grupo de estudiantes, distintos muebles, zapatos, lápices y dibujos seleccionados son ejemplos de materiales para una clasificación que pueden crear los niños. La clasificación puede ser tan simple como una agrupación dicotómica (por ej., clasificar a los estudiantes en niños y en niñas), o más compleja.

Ejemplos de normas (edad 13-18)

La enseñanza de la sistemática debe evitar la dependencia excesiva en la memorización rutinaria de nombres. El currículum debería incluir ejercicios activos de resolución de problemas que enfaticen una o más de las siguientes normas sugeridas:

- La sistemática como un todo integrado que consiste en la microtaxonomía, la macrotaxonomía y la nomenclatura.
- Las relaciones ecológicas.
- La dependencia humana de la biodiversidad.
- El concepto biológico de especie.
- La sistemática filogenética.
- La nomenclatura.
- La biogeografía.
- Computadoras y sistemática.
- El registro fósil: reconstruyendo el pasado.

Aunque cada uno de estos temas mencionados es un componente válido de la sistemática por sí mismo, los temas deberían ser enseñados como un todo integrado, no en forma aislada. El énfasis debe cambiar desde el que está dominado por la memorización de nombres de grupos aislados hacia aquél que enfatice los conceptos importantes y un cuadro coherente del orden y la diversidad.

Los maestros deberían emplear una variedad de métodos de instrucción en los salones de clase para cultivar las habilidades de los alumnos de investigar, construir clasificaciones de organismos, y proveer argumentos para establecer

relaciones genealógicas. Estos métodos alternativos de instrucción requerirán que el rol del maestro cambie desde un dispensador de información para facilitar la enseñanza hacia el de un catalizador y un entrenador. La introducción de nuevos temas, tales como nomenclatura, debería estar integrada en situaciones problemáticas situadas en un ambiente que aliente a los alumnos a explorar, formular y poner a prueba relaciones genealógicas, y discutir las implicancias de los esquemas de clasificación como hipótesis sobre el mundo viviente. Ese ambiente de enseñanza capacita a los estudiantes a encarar el aprendizaje de la sistemática biológica tanto creativamente como independientemente y así reforzar su confianza y habilidad en hacer sistemática.

Con las normas arriba mencionadas en mente, se han identificado actividades que ilustran el tipo de experiencias que los estudiantes deberían realizar en el salón de clase: actividades que engloban "hacer" sistemática, y no meramente leer sobre la naturaleza, sustancia y propósito de esta subdisciplina.

Hay, por supuesto, barreras para la implementación de una nueva enseñanza en cualquier área, y esto es especialmente cierto para la sistemática, que no goza de una reputación favorable para la mayoría de los docentes y de los estudiantes. La mejor forma de llevar a cabo reformas es proveer instrucción que directamente desafíe las percepciones negativas que muchos estudiantes y maestros tienen actualmente sobre la sistemática biológica.

Debemos recordar que:

- La biodiversidad es un recurso global que necesita ser preservado.
- El aprendizaje de la sistemática debería ser un proceso activo y constructivo.
- La instrucción debe basarse en problemas reales que demuestren la significación personal y social de la biodiversidad.

Si tenemos en mente estos puntos, colectivamente tendremos una rara oportunidad de generar un tipo de liderazgo que fomente cambios sustanciales en la enseñanza de la sistemática biológica en las escuelas. Estos cambios asegurarán que todos los estudiantes posean una experiencia adecuada y suficiente para ser ciudadanos productivos en el próximo siglo.

5.2. Trepando el Árbol de la Vida: Taxonomía y Filogenia para Biología en Escuelas Secundarias

Con un subsidio de la *National Science Foundation*, el BSCS (*Biological Sciences Curriculum Study*) colaboró con el ETI, Amsterdam, y *Ward's Natural Science Establishment*, Rochester, para desarrollar y publicar un CD-ROM interactivo. El CD-ROM *Climbing the Tree of Life: Taxonomy and Phylogeny for High School Biology*

(*Trepando el Árbol de la Vida: Taxonomía y Filogenia para Biología en Escuelas Secundarias*) usa a la biodiversidad como un vehículo para reestructurar y modernizar la enseñanza de la taxonomía y la sistemática en los colegios secundarios. Los estudiantes se involucran en investigaciones interactivas y de laboratorio que les permiten usar una variedad de datos morfológicos, etológicos y moleculares para construir y analizar clasificaciones de grupos de organismos tanto vivientes como extintos. Los estudiantes aprenden que los sistemas de clasificación son hipótesis activas que representan visiones actuales- y algo flexibles- de la historia y las relaciones de la vida en la Tierra.

El programa, desarrollado por Kenneth Andrews y colegas en 2002, consistió en una actividad dirigida, que emplea los intereses de los estudiantes en la biodiversidad y su preocupación sobre su pérdida para introducir a los estudiantes y a los docentes de escuelas secundarias a: (1) los principios de la taxonomía y la sistemática; (2) la naturaleza y métodos de la ciencia; y (3) las implicancias personales y sociales de los avances de la taxonomía y la sistemática. Los conceptos presentados en el programa apoyan las normas nacionales para la educación en ciencias relacionadas con la enseñanza y los contenidos, incluyendo la ciencia como indagación, las ciencias de la vida, ciencia y tecnología, ciencia en las perspectivas personales y sociales, y la historia y naturaleza de la ciencia.

El CD-ROM consiste en una serie de actividades:

1. *Lleno de vida*. Los estudiantes ven y analizan un video informativo sobre biodiversidad y responden preguntas. Ellos descubren varios conceptos importantes sobre la biodiversidad y la historia para las actividades de aprendizaje del CD-ROM. Esta actividad introduce a los estudiantes al CD-ROM y desarrolla sus capacidades para observar, entender los contenidos, analizar el video, y su comprensión conceptual sobre la diversidad biológica. Los estudiantes participan en un ejercicio escrito y en una discusión guiada por el docente.

2. *Tubos de gusanos en agua caliente*: *Descubriendo y clasificando la vida*. Como miembros del *Biodiversity Action Team* (BAT) (Equipo de Biodiversidad en Acción), los estudiantes investigan la biodiversidad en una salida de agua geotermal de las profundidades marinas, descubren y clasifican varias especies nuevas, y evalúan el valor científico y práctico de los organismos que viven cerca de la salida geotermal. La actividad desarrolla la comprensión conceptual sobre taxonomía de los estudiantes y los introduce a los principios que yacen en la organización de los tres sistemas modernos de clasificación y de las jerarquías taxonómicas. Los

estudiantes también ganan experiencia en el trabajo en equipo con un problema virtual de resolución grupal.

3. *Biodiversidad*: *Todo está a tu alrededor*. Los estudiantes aprenden cómo detectar, investigar e identificar animales, plantas y hongos en su área local, luego escriben un artículo para un periódico que resume sus hallazgos. Esta actividad desarrolla en los estudiantes las habilidades para atender, observar y escribir sobre la naturaleza y los métodos de la ciencia, el conocimiento de los organismos que viven en su área local, y la comprensión conceptual de la biodiversidad.

4. *¿Dinosaurios en nuestro patio?: Investigando las relaciones evolutivas*. Los estudiantes aprenden cómo usar la cladística para inferir las relaciones evolutivas entre los organismos. Luego usan este conocimiento para evaluar la precisión científica de la información presentada en un guión de película hipotético. La actividad desarrolla en el estudiante la comprensión conceptual de la evolución biológica, el cladismo como un método para inferir las relaciones filogenéticas entre los organismos y reconstruir su historia evolutiva, y cómo la clasificación taxonómica de los organismos refleja sus relaciones evolutivas.

5. *Un cuento de ballenas: Aplicaciones prácticas de la taxonomía*. Los estudiantes investigan denuncias sobre la venta de carne de ballenas en peligro para utilizarla como comida. Si las denuncias se comprueban, esas actividades comerciales perjudicarían los esfuerzos internacionales para conservar especies de ballenas en peligro. La actividad desarrolla las habilidades de los estudiantes para la resolución de problemas, lectura comprensiva, y de presentación. También desarrolla su comprensión conceptual sobre claves taxonómicas, técnicas moleculares para identificar especies, y aspectos de conservación internacional.

6. *Biodiversidad: Su origen, pérdida y conservación*. Los estudiantes crean una guía visual de estudios que resume información importante sobre el origen, la pérdida y la conservación de la biodiversidad en la Tierra. La actividad desarrolla las habilidades de lectura de los alumnos; le enseña varias herramientas de aprendizaje para organizar contenidos complejos (matrices, mapas mentales y mapas de conceptos); y mejora su conocimiento conceptual y específico sobre la biodiversidad de la Tierra.

Una versión prototipo del CD-ROM se lanzó en 2002 y se puso a prueba en 19 escuelas secundarias localizadas en distintos lugares de los Estados Unidos de América. Los resultados fueron evaluados y, sobre la base de las respuestas de los docentes y de los alumnos, se implementaron modificaciones, y se produjo una versión final del CD-ROM.

Objetivos principales. Los objetivos principales de este programa educacional son:

- reestructurar y modernizar la enseñanza de la taxonomía y la sistemática en la biología de las escuelas secundarias usando métodos de instrucción orientados a la indagación;
- usar el interés de los estudiantes por la biodiversidad y su preocupación por su pérdida como contexto para transmitir los conceptos más importantes en taxonomía y sistemática;
- promover la comprensión de la taxonomía y la sistemática usando actividades de enseñanza mediante un CD-ROM interactivo, acompañada por experiencias de laboratorio y de campo;
- usar la taxonomía y la sistemática para enseñar a los estudiantes sobre la naturaleza y los métodos de la ciencia;
- ilustrar las implicancias personales y sociales de usar la información taxonómica para comprender la biodiversidad, desarrollar políticas públicas, y resolver problemas cotidianos; y
- colectar información sobre cuán efectivo es este método de instrucción en promover una comprensión conceptual de la biodiversidad, la taxonomía, y la sistemática entre los estudiantes y los docentes.

Objetivos de enseñanza. El programa:

- mejora la comprensión conceptual de los estudiantes sobre la taxonomía y la sistemática mediante su participación en actividades interactivas, orientadas a la indagación, basadas en un CD-ROM. Estas actividades serán complementadas con ejercicios de laboratorio y experiencias en el campo.
- usa la biodiversidad como vehículo para mejorar la enseñanza de la taxonomía y la sistemática.
- enseña taxonomía y sistemática dentro de un contexto evolutivo.
- usa la biodiversidad, la taxonomía y la sistemática para familiarizar a los estudiantes con la naturaleza y métodos de la ciencia, y ayuda a los estudiantes a comprender las implicancias personales y sociales de los descubrimientos científicos.

- transmite a los estudiantes un conjunto de conceptos importantes sobre biodiversidad, taxonomía y sistemática que son científicamente correctos y actualizados.

Objetivos de producción. El programa es un recurso auxiliar para los maestros cuando enseñan una gran variedad de tópicos en biología, tales como evolución, genética, y biología molecular.

Este programa transmite los conceptos principales de tres temas: biodiversidad, taxonomía y sistemática; la naturaleza y métodos de la ciencia; y las implicancias personales y sociales de la biodiversidad. Algún tipo de guía del maestro debe explicar el lugar del programa en el currículum, su pedagogía, y su uso en el salón de clase (Figura 2).

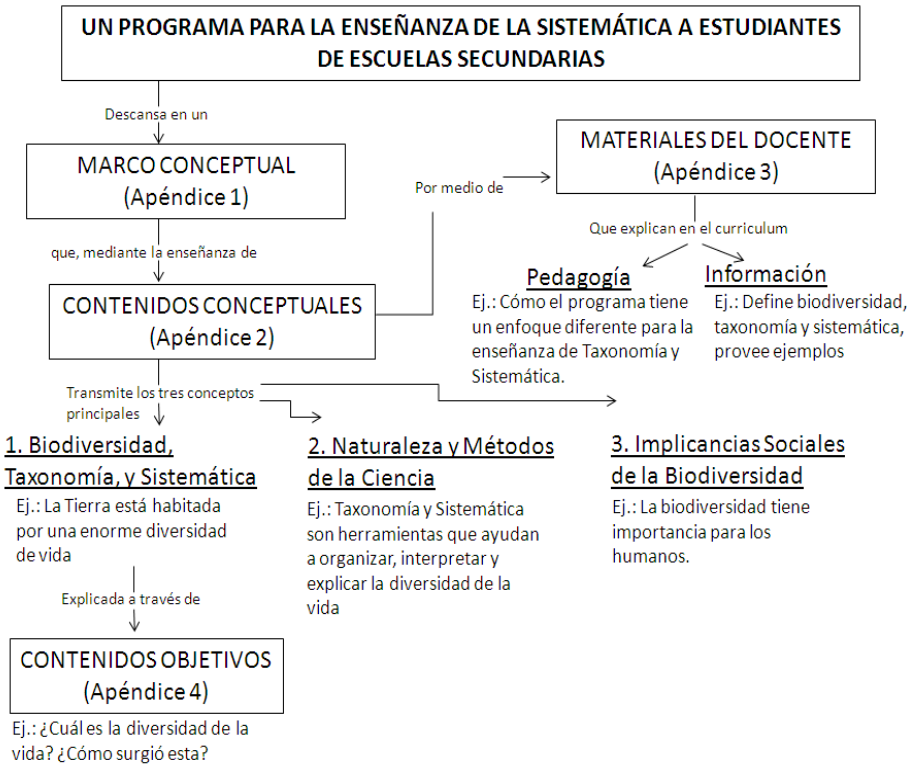

Figura 2. Mapa de conceptos mostrando los componentes de un programa para la enseñanza de la sistemática en las escuelas secundarias.

6. CONCLUSIONES

Al considerar cómo llevar a cabo la enseñanza de nuestros jóvenes, los adultos tenemos dos problemas que resolver. Uno es un problema de ingeniería; el otro es metafísico. El problema de ingeniería, como en los casos de estos problemas, es esencialmente técnico. Es el problema de los *medios* por los cuales el joven será educado. Aborda las cuestiones de dónde y cuándo se harán las cosas y, por supuesto, cómo se supone que ocurrirá el aprendizaje. El problema no es simple, y cualquier proyecto educativo respetable tiene que ofrecer algunas soluciones para esto. Pero convertirse en una persona diferente por algo que se ha aprendido- apropiarse de una idea, un concepto, una visión, de manera que tu mundo haya cambiado- eso es un problema diferente.

Para que eso suceda, se necesita una razón. Y eso es un problema metafísico.

Una razón, como se usa la palabra aquí, es distinta de una motivación. Dentro del contexto de la enseñanza, la motivación se refiere a un evento psíquico temporario en el cual la curiosidad es despertada y la atención es atraída. No es la intención menospreciarla. Pero no debe ser confundida con una razón para estar en un aula, para escuchar a un maestro, para hacer un examen, para hacer las tareas, para estar al día con la escuela aun cuando no se está motivado.

Este tipo de razón es algo abstracto, no siempre presente en nuestra conciencia, no siempre fácil de describir. Y por sobre todo eso, sin ella la enseñanza no funciona. Para que la escuela tenga sentido, los jóvenes, sus padres y sus maestros tienen que tener un relato o mejor aún, varios relatos. Si no tienen ninguno, la escuela no tiene sentido. El famoso aforismo de Nietzche es aquí relevante: “El que tiene un *por qué* para vivir puede soportar casi cualquier *cómo*”. Esto se aplica tanto a aprender como a vivir.

Entendemos por relato una historia, no cualquier tipo de historia, sino una que nos habla de los orígenes y que imagina un futuro, una historia que construye ideales, prescribe reglas de conducta, genera fuentes de autoridad y, sobre todo, da un sentido de continuidad y propósito. En el sentido que usamos la palabra, es el nombre de un gran relato, uno que tiene suficiente credibilidad, complejidad, y poder simbólico que permite a uno organizar su vida alrededor de él. Un relato comprehensivo sobre cómo es la vida, cómo las cosas llegaron a ser de la forma que son, y qué se avecina.

Tres relatos que individualmente y en conjunto, contienen suficiente resonancia y poder para ser razones de llevar la biodiversidad a la escuela son:

1. La Tierra es nuestro único hogar.
2. La evolución biológica.
3. *El Ascenso del Hombre*, de Bronowski.

La Tierra como nuestro único hogar es la historia de los seres humanos como administradores de la Tierra, custodios de un planeta vulnerable. Si alguna parte de nuestro hogar es envenenada, todos lo sufren, que no es lo mismo que decir por ejemplo que la contaminación del Golfo de México no es un problema del estado de Louisiana (USA). "*Por lo tanto, no envíes a saber por quién doblan las campanas*", escribió John Donne. "*Doblan por ti*".

La evolución biológica, como relato, es una narración inspiradora de la vida en la Tierra y del origen humano en ella. Habla de la fragilidad humana e invoca nuestro sentido de custodios de la biodiversidad.

El Ascenso del Hombre, de Jacob Bronowski es un libro, una película y una filosofía, plena de optimismo y bañada en la creencia trascendente de que el destino de la humanidad es el descubrimiento del conocimiento. Aunque el énfasis de Bronowski está en la ciencia, incluye también las artes y humanidades como parte de nuestra búsqueda incesante para lograr una comprensión unificada de la naturaleza y nuestro lugar en ella.

Jorge Luis Borges (1899-1986), el gran poeta argentino se hizo una pregunta cuya respuesta refleja en su totalidad el tema de la enseñanza de la biodiversidad en las escuelas.

> "*A un chico lo llevan por primera vez al jardín zoológico. Ese chico será cualquiera de nosotros o, inversamente, nosotros hemos sido ese chico y lo hemos olvidado. En ese jardín, (…) el chico ve animales vivientes que nunca ha visto; ve jaguares, buitres, bisontes y, lo que es más extraño, jirafas. Ve por primera vez la desatinada variedad del reino animal, y ese espectáculo, que podría alarmarlo u horrorizarlo, le gusta. Le gusta tanto que ir al jardín zoológico es una diversión infantil (…)*
> *¿Cómo explicar este hecho común y a la vez misterioso?*"
> *"(…) el niño mira sin horror a los tigres porque no ignora que él es los tigres y los tigres son él o, mejor dicho, que los tigres y él son de una misma esencia*".

El niño sabe inconscientemente que compartimos el precioso momento del origen de la vida con el resto de los seres vivos.

La educación en biodiversidad debería llevarnos a aquel extraordinario momento 3.500 millones de años atrás y fomentar en nuestros niños y -en todos nosotros- un sentido de custodia de la biodiversidad de nuestro planeta, del cual somos una pequeña parte.

REFERENCIAS

ANDREWS, K., J. V. CRISCI, E. DREXLER, K. W. OSBORNE, R. W. PULTORAK Y J. SIGSTEDT. 2002. CD-ROM for PC y MAC. "Climbing the tree of life. Taxonomy and phylogeny for high school biology". Supplemental, standards-based learning activities for high school biology; Interactive, inquiry-oriented activities with videos, animations, simulations, and printable documents; Off-computer research; Individual and collaborative learning; Teacher´s implementation guide. Biological Sciences Curriculum Study (BSCS), Colorado Springs, Colorado, USA.

BORGES, J. L. 1957. Manual de Zoología Fantástica. Fondo de Cultura Económica, México.

BRONOWSKI, J. 1976. The Ascent of Man. Little Brown y Co., London.

CRISCI, J. V. 1998. La Sistemática de nuestro tiempo: hechos, problemas y orientaciones. Boletín de la Sociedad Botánica de México 63:21-32.

CRISCI, J. V. 2001. La biodiversidad como recurso vital de la humanidad. Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria 55:256-269.

CRISCI, J. V. 2006. One-Dimensional Systematist: Perils in a Time of Steady Progress. Systematic Botany 31:217-221.

CRISCI, J. V. 2006. Making Taxonomy Visible. Systematic Botany 31:439-440.

CRISCI, J. V. 2006. Espejos de nuestra época: Biodiversidad, Sistemática y Educación. Gayana Botánica 63:106-114.

CRISCI, J. V., J. D. MCINERNEY Y P. J. MCWETHY. 1993. Order and diversity in the living world: Teaching taxonomy and systematics in schools. The Commission for Biological Education of the International Union of Biological Sciences, en cooperación con UNESCO. The Sheridan Press, Hanover, Pennsylvania, USA.

MCLUHAN, M. 1964. Understanding Media: The Extensions of Man. The New American Library, New York.

MCLUHAN, M. Y Q. FIORE. 1968. War and Peace in the Global Village. Bantham Books, New York.

MICHAELS, S., A. W. SHOUSE Y H. A. SCHWEINGRUBER. 2007. Ready, Set, Science!: Putting Research to work in K-8 Science Classrooms. National Research Council of the National Academies, The National Academy Press, Washington, DC.

REPORT OF THE TENTH MEETING OF THE CONFERENCE OF THE PARTIES TO THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. 2011. CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. Conference of the parties to convention on biological diversity. Tenth meeting, Nagoya, Japan, 18-29 October 2010.

Apéndice 1
Trepando el Árbol de la Vida: Taxonomía y Filogenia para Biología en Escuelas Secundarias. Marco conceptual de un programa para la enseñanza de la sistemática.

Biodiversidad, Taxonomía y Sistemática

1. Los estudiantes comprenderán los términos biodiversidad, taxonomía y sistemática. La biodiversidad se refiere a la variación que existe en los diversos niveles de organización biológica, incluyendo la variación genética, bioquímica y morfológica, que existe entre los individuos de una especie, entre diferentes especies de taxones de rango superior, y dentro y entre los ecosistemas.
   La taxonomía y la sistemática son las ciencias que usamos para interpretar y comprender la biodiversidad. Los biólogos usan distintas definiciones para los términos taxonomía y sistemática en la literatura científica. Por ejemplo, algunos biólogos usan los términos como sinónimos, mientras que otros ven a la taxonomía como una parte de la sistemática. En este programa, taxonomía se refiere a la ciencia que clasifica a los organismos, mientras que la sistemática es el estudio de las relaciones evolutivas y genéticas de las especies.

2. Los estudiantes comprenderán que la Tierra está habitada por una enorme diversidad de vida y que casi todos los ambientes poseen biodiversidad.

3. Los estudiantes reconocerán que la biodiversidad ha variado a lo largo del tiempo y el espacio por una variedad de factores como la mutación, la deriva génica, la especiación, la extinción, y los eventos históricos.

4. Los estudiantes comprenderán que los ecosistemas se caracterizan en parte por su biodiversidad y que son sistemas dinámicos compuestos de organismos que interactúan entre sí y con el ambiente físico. Estas interacciones forman la base de los procesos de los ecosistemas como el flujo de energía y el ciclo de los materiales.

5. Los estudiantes comprenderán que los miembros individuales de las especies naturales y las domesticadas varían en sus características, incluyendo su morfología, bioquímica y composición genética.

6. Los estudiantes comprenderán que los organismos pueden clasificarse en categorías sobre la base de sus características y que la selección de características depende de la razón de la clasificación.

7. Los estudiantes comprenderán que la estructura jerárquica en los sistemas modernos de clasificación organizan la información sobre la biodiversidad conocida del mundo. El agrupamiento natural más pequeño reconocido por los científicos es la especie, que constituye la unidad de continuidad genética. Hay diversas formas de definir una especie (por ejemplo, biológica y tipológica), pero el concepto de una especie tiene una aplicación limitada para ciertos grupos de organismos, como los procariotas.

8. Los estudiantes comprenderán que los sistemas modernos de clasificación reflejan la historia evolutiva y las relaciones entre las especies.

9. Los estudiantes reconocerán que los científicos trabajan para construir un árbol filogenético (o mapa evolutivo) que refleje apropiadamente las relaciones de la vida en la Tierra. Los científicos continúan mejorando la estructura de este árbol de la vida y lo van completando a medida que se incorpora nueva información sobre los organismos. A veces hay controversias sobre los detalles del árbol filogenético cuando los científicos están en desacuerdo sobre la interpretación de nuevos datos para construir el árbol.

10. Los estudiantes reconocerán que los científicos usan las características de los organismos como la base para reconstruir la historia evolutiva de los organismos.

11. Los estudiantes comprenderán que la teoría de la evolución biológica de Darwin explica por qué la gran diversidad de especies que constituyen la biodiversidad de la Tierra comparte características fundamentales como el ADN y las vías metabólicas. De acuerdo con esta teoría, estas similitudes ocurren porque todos los organismos en la Tierra derivan de un antecesor común mediante la descendencia con modificación.

Naturaleza y Métodos de la Ciencia

12. Los estudiantes comprenderán que la taxonomía y la sistemática ayudan a que los científicos organicen, interpreten y expliquen la extraordinaria diversidad de la vida en la Tierra, tanto viviente como extinta.

13. Los estudiantes comprenderán que los sistemas taxonómicos de clasificación y los árboles filogenéticos generados por los científicos representan hipótesis comprobables que pueden ser cuestionadas y modificadas a medida que se reúne nueva información.

14. Los estudiantes reconocerán que la clasificación taxonómica de un grupo de organismos puede variar entre los sistemas de clasificación dependiendo de los supuestos sobre los que se basa cada sistema y de la información utilizada para clasificar a los organismos.

15. Los estudiantes comprenderán que hay varias formas de reconocer a las especies en la naturaleza y que la designación taxonómica de una especie puede cambiar a medida que se reúne nueva información.

16. Los estudiantes reconocerán que los científicos usan múltiples líneas de evidencia (por ejemplo, evidencia morfológica, del desarrollo, etológica, bioquímica y genética) para determinar las relaciones filogenéticas entre grupos de organismos.

17. Los estudiantes reconocerán el papel que juegan las computadoras y las bases de datos electrónicas en los análisis taxonómicos y filogenéticos modernos. Además, los estudiantes serán capaces de buscar evidencia confiable y actualizada sobre diversidad, taxonomía y sistemática en internet, a acceder y usar bases de datos electrónicas y comunicar lo que han aprendido mediante correo electrónico y/o grupos de usuarios.

Implicancias Personales y Sociales de la Biodiversidad

18. Los estudiantes comprenderán que los humanos son parte de la biodiversidad de la Tierra y reconocerán las relaciones entre ellos mismos y la biodiversidad que los rodea.

19. Los estudiantes reconocerán que la biodiversidad tiene significación para los humanos y comprenderán los distintos argumentos que la gente usa para preservar la biodiversidad, como el estético, práctico, científico, de soporte de vida y éticos.

20. Los estudiantes reconocerán que sus decisiones éticas, políticas y económicas pueden tener un impacto en la biodiversidad mundial; así ellos necesitan tener decisiones basadas en la información.

Apéndice 2
Trepando el Árbol de la Vida: Taxonomía y Filogenia para Biología en Escuelas Secundarias. Contenidos conceptuales para la enseñanza de la sistemática.

Biodiversidad, taxonomía y sistemática

21. Conceptos básicos. Los estudiantes comprenderán los términos biodiversidad, taxonomía y sistemática.
    La biodiversidad se refiere a la variación que existe en los distintos niveles de organización biológica, incluyendo la variación genética, bioquímica y morfológica entre los individuos de una especie, entre especies y taxones de rango superior, y dentro y entre los ecosistemas. La taxonomía y la sistemática son ciencias que usamos para interpretar y comprender la biodiversidad. La taxonomía se refiere a la ciencia (y al arte) de clasificar a los organismos. La sistemática estudia las relaciones evolutivas y genéticas entre las especies.

22. Biodiversidad en la Tierra. Los estudiantes comprenderán que la Tierra está habitada por una enorme diversidad de vida y que casi todos los ambientes poseen biodiversidad.

23. Biodiversidad en el tiempo. Los estudiantes reconocerán que la biodiversidad ha cambiado en el tiempo y en el espacio por una variedad de factores como las mutaciones, deriva génica, especiación, extinción y los eventos históricos.

24. Ecosistemas. Los estudiantes comprenderán que los ecosistemas se caracterizan en parte por su biodiversidad y que son sistemas dinámicos compuestos de organismos que interactúan entre sí y con el ambiente físico. Estas interacciones forman la base de los procesos de los ecosistemas como el flujo de energía y el ciclo de los materiales.

25. Variación individual. Los estudiantes comprenderán que los miembros individuales de las especies naturales y domesticadas varían en sus características, incluyendo en su morfología, bioquímica y estructura genética.

26. Los criterios de clasificación dependen de un objetivo. Los estudiantes comprenderán que los organismos pueden clasificarse en

categorías sobre la base de sus características y que la selección de esas características depende del objetivo de la clasificación.

27. Organización jerárquica. Los estudiantes comprenderán que la estructura jerárquica en los sistemas modernos de clasificación organizan la información sobre la biodiversidad mundial conocida. El agrupamiento taxonómico menor que reconocen los científicos es la especie, que constituye la unidad de continuidad genética. Existen varias maneras de definir a la especie (por ejemplo, biológica y tipológica), pero el concepto de especie tiene una aplicación limitada en ciertos grupos de organismos como las bacterias.

28. Taxonomía basada en la filogenia. Los estudiantes comprenderán cómo los sistemas modernos de clasificación reflejan la historia evolutiva y las relaciones entre los organismos. Los estudiantes reconocerán que los científicos usan las características de los organismos como la base para reconstruir la historia evolutiva de los mismos.

29. Construcción del árbol filogenético. Los estudiantes reconocerán que los científicos están trabajando para construir un árbol filogenético que refleje apropiadamente las relaciones de la vida en la Tierra. Los científicos continúan mejorando la estructura de este árbol de la vida y lo hacen más completo al ir incorporando nueva información sobre los organismos. A veces surgen controversias cuando los científicos no están de acuerdo respecto a cómo debe ser modificado el árbol a la luz de la nueva información.

30. La evolución explica las características compartidas. Los estudiantes comprenderán que la teoría de la evolución biológica de Darwin explica por qué la gran diversidad de especies que conforman la biodiversidad de la Tierra comparten características fundamentales como el ADN y las vías metabólicas. Estas similitudes ocurren porque todos los organismos en la Tierra derivan de un antecesor común a través de la descendencia con modificación.

La naturaleza y los métodos de la ciencia

31. La taxonomía y la sistemática son herramientas. Los estudiantes comprenderán que los campos de estudio denominados taxonomía y sistemática ayudan a los científicos a organizar, interpretar y

explicar la extraordinaria diversidad de la vida en la Tierra, tanto viviente como extinta.

32. La taxonomía y la sistemática generan hipótesis. Los estudiantes comprenderán que los sistemas taxonómicos de clasificación y los árboles filogenéticos obtenidos por los científicos representan hipótesis contrastables que pueden cambiar a medida que surge nueva información.

33. La clasificación varía con los supuestos. Los estudiantes reconocerán que la clasificación taxonómica de un grupo de organismos puede varíar a través de los sistemas de clasificación dependiendo de los supuestos de cada sistema y de la información utilizada para clasificar a los organismos.

34. Varias formas de clasificar. Los estudiantes reconocerán que hay varias formas de reconocer una especie en la naturaleza y que las designaciones taxonómicas de los organismos pueden cambiar a medida que surge nueva información.

35. Múltiples líneas de evidencia para generar una filogenia. Los estudiantes reconocerán que los científicos usan múltiples líneas de evidencia (por ejemplo, evidencia morfológica, del desarrollo, etológica, bioquímica, genética) para determinar las relaciones filogenéticas entre los grupos de organismos.

36. Las computadoras son herramientas valiosas para almacenar y analizar información sobre biodiversidad. Los estudiantes reconocerán el papel que las computadoras y las bases de datos electrónicas juega en los modernos análisis taxonómicos y filogenéticos. Además, los estudiantes serán capaces de buscar información confiable y actualizada sobre biodiversidad, taxonomía y sistemática en internet, usar y acceder a bases de datos electrónicas, y comunicar lo que han aprendido mediante correo electrónico y/o grupos de usuarios.

Implicancias personales y sociales

37. Los humanos somos parte de la biodiversidad del mundo. Los estudiantes comprenderán que los humanos somos parte de la biodiversidad de la Tierra y reconocerán las relaciones entre ellos y la biodiversidad que los rodea.

38. Significado de la biodiversidad para los humanos. Los estudiantes reconocerán que la biodiversidad tiene significación para los humanos y comprenderán los diversos argumentos que la gente usa para preservar la biodiversidad, como los estéticos, prácticos, científicos, de soporte de vida y éticos.

39. Las decisiones de la gente afectan a la biodiversidad. Los estudiantes reconocerán que sus decisiones éticas, políticas y económicas pueden tener un impacto sobre la biodiversidad del mundo, por ello necesitan tomar decisiones basadas en la información.

Apéndice 3
Trepando el Árbol de la Vida: Taxonomía y Filogenia para Biología en Escuelas Secundarias. Materiales del docente para la enseñanza de la sistemática.

Algún tipo de guía del docente debe explicar la ubicación del programa en el currículum, su pedagogía y su uso en el aula. La guía también podría brindar información sobre el contenido científico, tanto general como específico.

Para ello se generaron directrices para desarrollar la guía del docente. Recomendaron que el manual de usuario debe ser amigable, con visión de futuro, meticuloso, científicamente preciso y actualizado. Los conceptos importantes deberían ser ilustrados por numerosos ejemplos relevantes organizados de más simples a más complejos.

Lugar en el currículum. La guía del docente identificará en qué lugar del currículum de biología de la escuela secundaria encaja el programa, y cómo el programa puede incorporarse a los cursos de biología. Esta sección de la guía del docente:

- explicará por qué es importante para los estudiantes comprender conceptos relacionados con la biodiversidad, la taxonomía y la sistemática;
- explicará cómo los maestros pueden integrar el programa en sus cursos de biología durante el año escolar; y
- proporcionará una visión general del contenido y de la estructura del programa.

Pedagogía.

- explicará cómo el programa tiene un enfoque diferente para enseñar taxonomía y sistemática;
- explicará la pedagogía orientada a la investigación como una forma de enseñanza y aprendizaje y cómo este enfoque promueve la investigación abierta, el pensamiento crítico y la discusión desafiando a los alumnos a construir su propio entendimiento del material, en lugar de proveerlos de respuestas simples, de fácil acceso;
- explicará cómo el modelo de instrucción de las 5-E (empeñarse, explorar, elaborar y evaluar) fue usado para diseñar las actividades del programa;
- proveerá de un ejemplo de plan de clase que ilustre algunas de las ventajas de usar un programa basado en un CD-ROM para la enseñanza de la taxonomía y la sistemática, comparado con un enfoque más tradicional;

- explicará la importancia y el valor de las discusiones estudiante-estudiante y estudiante-docente en la resolución de problemas dentro y fuera del aula;
- explicará cómo los docentes pueden incorporar en las actividades varios tipos de tareas escritas que requieren el uso de internet y de la biblioteca;
- explicará cómo los docentes pueden incorporar información de internet en las actividades; y
- discutirá las normas nacionales de movimiento e identificará qué normas cumple del *National Research Council*.

Información básica. Los docentes se beneficiarán de la visión de conjunto de los temas y conceptos principales y de la información relacionada con actividades específicas. Esta sección de la guía del docente presentará información básica que ayuda a los docentes a enseñar el programa con éxito. La información básica debería estar discriminada de manera que los docentes puedan distinguir entre información esencial e información auxiliar. Las discusiones de los conceptos más importantes deberían estar suplementadas con boxes ricos en información que ilustren un concepto con ejemplos concretos que se refieran a organismos familiares y populares, como ballenas y perros. Sin embargo, a veces organismos nuevos e inusuales pueden ser más interesantes y excitantes que los organismos familiares y populares.

El resumen de los temas y conceptos más importantes del programa

- usará mapas de conceptos o diagramas de flujo para ilustrar cómo se relacionan los tópicos (biodiversidad, taxonomía y sistemática);

- usará mapas de conceptos o diagramas de flujo para ilustrar cómo se relacionan los conceptos más importantes; y

- sugerirá materiales de referencia que provean información más detallada sobre los tópicos, como libros (por ejemplo, de E.O. Wilson), revistas y CDs (por ejemplo, la extensiva colección de CDs de biodiversidad del ETI).

La información básica en relación a la historia, la naturaleza y los métodos de la ciencia

- explicará que la ciencia es una manera dinámica de aprender sobre el mundo natural y que nuestra comprensión científica progresa

típicamente por el refinamiento de la misma, mientras que los principios generales permanecen intactos, y

- explicará que la controversia y el debate son una parte de la ciencia y contribuyen al avance del conocimiento científico; los docentes no deberían, sin embargo, enfatizar demasiado la controversia porque los estudiantes necesitan comprender que hay un amplio acuerdo entre los científicos sobre los mayores conceptos presentados en el programa.

La información básica relacionada a la biodiversidad

- definirá los varios tipos de diversidad y proveerá de ejemplos relevantes;
- discutirá los intereses de la humanidad en la biodiversidad y por qué los humanos valoran la biodiversidad (por ejemplo, su valor utilitario como fuente de alimentos y medicinas, su valor estético como fuente de belleza y de inspiración, y su valor científico);
- describirá las varias formas en que los científicos miden la biodiversidad y proveerá ejemplos;
- proveerá información actualizada sobre diversidad, como el número de especies descriptas y el número de especies que se calcula que existen;
- describirá cómo los viajes y la tecnología han producido avances en el conocimiento de la humanidad sobre la biodiversidad mundial e incluirá una revisión de los ecosistemas (por ejemplo, ecosistemas característicos y balanceados versus ecosistemas desbalanceados) y una discusión sobre la biodiversidad de varios ecosistemas y ambientes remotos;
- explicará cómo la biodiversidad ha cambiado a lo largo del tiempo, incluyendo los cambios en la prevalencia de diferentes especies durante la historia geológica;
- discutirá cómo la evolución darwiniana da origen a la biodiversidad;
- discutirá la variación y la especiación usando ejemplos que se refieran a organismos familiares;

- describirá el propósito y los desafíos del Proyecto del Genoma humano y la dificultad para obtener esa información de todas las especies del mundo; y

- proveerá una visión del papel de la humanidad para provocar la extinción de especies y la preservación de las mismas.

La información básica relacionada a la taxonomía

- definirá el tema taxonomía y proveerá de ejemplos relevantes;

- explicará que la taxonomía y la sistemática obtienen sus puntos de vista del análisis de las características de los organismos y que los científicos en el pasado sólo analizaban las características morfológicas, pero que actualmente analizan una gran variedad de características incluyendo las etológicas, moleculares y genéticas;

- explicará que la gente clasifica a los organismos por conveniencia porque los ayuda a organizar a los organismos y darle sentido a la gran cantidad de información sobre la biodiversidad, pero que cada sistema está diseñado para un propósito y no existe un sistema perfecto de clasificación;

- explicará cómo los científicos usan la simplicidad como una herramienta y como una filosofía en la clasificación;

- discutirá la importancia de darle nombre a los organismos y la importancia de conocer el ambiente de un organismo y su nicho para comprenderlo completamente;

- explicará las virtudes y las limitaciones del concepto biológico de especie, incluyendo la dificultad en la aplicación del concepto a las especies con rápido intercambio génico (por ejemplo, bacterias);

- dará una visión histórica de cómo los sistemas de clasificación y las filogenias han cambiado con el tiempo a medida que los científicos aprendían más sobre la biodiversidad (por ejemplo, Darwin no estaba seguro de cómo las plantas y los animales se relacionaban evolutivamente, pero hoy comprendemos mejor la historia evolutiva de plantas y animales); y

- resumirá la controversia en relación a los cinco reinos versus los tres dominios en el sistema de clasificación.

La información básica relacionada a la sistemática

- definirá el tema de la sistemática y proveerá de ejemplos relevantes;
- explicará cómo la sistemática impregna todos los aspectos de la biología (incluyendo la biología molecular) de maneras tan profundas que moldeará el futuro de la biología;
- explicará cómo los científicos saben que la vida en la Tierra está relacionada (por ejemplo, todas las formas de vida tienen ADN como material genético) y por qué este concepto es central a nuestra comprensión de la biodiversidad, la sistemática y la taxonomía;
- discutirá en detalle la evolución biológica por selección natural, la filogenia, y las implicancias de la teoría de la evolución para la clasificación;
- discutirá el valor de una perspectiva centrada en los genes para comprender la evolución;
- discutirá poblaciones, variación dentro de una especie, las distintas definiciones de especie, los mecanismos de especiación, el papel de la reproducción sexual, y la microevolución y la macroevolución;
- explicará la importancia de pensar históricamente, discutirá el pensamiento filogenético ("tree thinking") y usará ejemplos para ilustrar cómo los científicos usan el análisis de los caracteres para construir e interpretar los árboles filogenéticos;
- explicará que cualquiera sean las características que usemos para reconstruir la historia filogenética de los organismos, tales análisis tienen ciertas virtudes y ciertas limitaciones (por ejemplo, la convergencia complica el análisis morfológico, mientras que los genes compartidos y las quimeras complican los análisis de secuencias génicas);
- explicará que tanto la información sobre partes de organismos (por ejemplo, secuencias de genes o moléculas) como de organismos enteros pueden usarse para reconstruir las relaciones filogenéticas, y que cada enfoque tiene ventajas y desventajas;

- explicará el poder de las secuencias de ADN para reconstruir las historias filogenéticas;
- discutirá la significación del ADN mitocondrial, el origen de la mitocondria, y la importancia de los genes quiméricos en el estudio de la sistemática;
- explicará por qué la homología y la analogía (aplicadas a los caracteres morfológicos y a los genes) son importantes para comprender la biodiversidad, la taxonomía y la sistemática;
- explicará la convergencia y proveerá de ejemplos (por ejemplo, la forma de la flor); y
- usará un enfoque balanceado, histórico que se concentre en la naturaleza y la historia de la ciencia para explicar cómo la cladística y la taxonomía evolutiva se diferencian como técnicas para analizar las relaciones de los organismos.

Apéndice 4
Trepando el Árbol de la Vida: Taxonomía y Filogenia para Biología en Escuelas Secundarias. Contenidos objetivos del programa para la enseñanza de la sistemática.

1. ¿Qué es la diversidad de la vida?
   La diversidad es la cornucopia de las especies en la Tierra (los millones de especies distintas que representan discontinuidades en la variación).
   Es el conjunto de especies en ecosistemas funcionales.
   Es el árbol de la vida (es decir, todas las especies están relacionadas filogenéticamente).

2. ¿Cómo surgió esta diversidad?
   La diversidad surgió a través de la especiación (la división de los linajes).
   La especiación es un proceso a nivel de las poblaciones que involucra la divergencia estadística de bancos de genes. La reproducción sexual le da coherencia a los bancos de genes a la mayoría de los eucariotas.
   Las especies hijas esencialmente comparten historias evolutivas idénticas. Lo mismo es cierto para taxones de rango superior que resultan de la especiación repetida. Las homologías resultan de la descendencia con modificación.

3. ¿Cómo se infieren las relaciones filogenéticas?
   Las relaciones filogenéticas se infieren mediante el estudio de estructuras homólogas o de genes (si se estudian genes, hay que distinguir entre genes ortólogos y parálogos).
   Estudiando sinapomorfías usando métodos de simplicidad y estudiando similitudes usando métodos de distancia.
   Identificando al árbol filogenético que es más consistente con los datos. A menudo es necesario inferir el estado ancestral de los caracteres (paleontología sin fósiles).
   Para algunos datos (por ejemplo, secuencias de ADN), las diferencias pueden usarse para estimar tiempos de divergencia (división de linajes).

4. ¿Cómo se distribuye esta diversidad en tiempo y espacio?
   Los linajes relacionados a menudo existen cerca unos de otros en tiempo y en proximidad geográfica.
   Las especies que están relacionadas a los ancestros de taxones vivientes se encuentran en el registro fósil.

Hubo aumentos y disminuciones dramáticas en la biodiversidad durante la historia de la Tierra. La evidencia biogeográfica y fósil puede usarse para calibrar los relojes moleculares.

5. ¿Cómo se clasifican las especies?
   Las especies se clasifican primariamente por su descendencia común, la que no siempre se refleja en sus similitudes generales.
   Una clasificación jerárquica refleja los eventos mayores de la historia de la Tierra. La teoría y práctica de la clasificación ha cambiado durante el último siglo debido a la adquisición de mejores datos, nuevas técnicas para inferir las relaciones filogenéticas, y la filosofía basada en la cladística.

6. ¿Cuál es el futuro de la biodiversidad?
   Se descubren nuevas especies cada año.
   La investigación sistemática a menudo es esencial para identificar nuevas especies.
   La actividad humana está causando actualmente una extinción en masa comparable a las extinciones en masa observadas en el registro fósil.
   La investigación sistemática nos permite comprender la extinción y cuantificarla.
   Los estudios comparativos y la investigación sistemática están transformando toda la biología, incluyendo la biología molecular, la genética y las ciencias médicas.