



1 de abril de 2014 | Vol. 15 | Núm. 4 | ISSN 1607 - 6079

ARTÍCULO

LA SISTEMÁTICA: RUTA HISTÓRICA PARA CONOCER LA BIODIVERSIDAD

Atilano Contreras Ramos

LA SISTEMÁTICA: RUTA HISTÓRICA PARA CONOCER LA BIODIVERSIDAD

Resumen

La sistemática es la ciencia de la diversidad biológica. Estudia las especies de los distintos grupos biológicos a partir de una agenda que incluye el descubrimiento de las especies en la naturaleza, su descripción y propuesta formal ante la comunidad científica mundial, que incluye la asignación de un nombre científico. Los sistemáticos construyen y adminis-

tran los acervos donde se documenta esta diversidad de formas vivientes, las colecciones científicas. Las especies se clasifican, es decir, se postula su posición y su relación con otros grupos de especies emparentadas en el gran árbol de la vida. La sistemática es científica en tanto que postula hipótesis falsables sobre la existencia de entidades reales de la naturaleza, las especies, así como hipótesis de parentesco evolutivo con base en caracteres homólogos de diferente tipo, morfológicos, fisiológicos, etológicos, moleculares. México es un país megadiverso con una extensa e intensa agenda en la exploración de la biodiversidad. La sistemática aporta el enfoque histórico fundamental, el cual da la base para entender importantes procesos biológicos como la adaptación al ambiente, en el contexto de las relaciones filogenéticas de las especies.

“
La principal disciplina que opera al interior de este marco conceptual es la sistemática, y otras son la biogeografía, la embriología y la paleontología.”

Palabras clave: Evolución, taxonomía, filogenia, hipótesis, diversidad biológica.

SYSTEMATICS: HISTORIC PATH TO UNDERSTAND BIODIVERSITY

Abstract

Systematics is the science of biological diversity. It studies species of all different biological groups from an agenda that includes discovery of species in nature, their description and formal proposal before the world scientific community, which includes they receive a scientific name. Systematists build and manage the holdings where this diversity of living forms is documented, the scientific collections. Species are classified, that is the position of each species and of their groups of related species is postulated in the great tree of life. Systematics is scientific in that it postulates falsifiable hypotheses about the existence of real entities of nature, the species, as well as hypotheses of evolutionary relatedness on the basis of homologous traits of different kind, morphological, physiological, ethological, molecular. Mexico is a megadiverse country with an extensive and intensive agenda in the exploration of biodiversity. Systematics provides a fundamental historical approach, which represents a basis to understand important biological processes such as adaptation to an environment, in the context of the phylogenetic relationships of species.

Keywords: *Evolution, taxonomy, phylogeny, hypothesis, biological diversity.*

LA SISTEMÁTICA: RUTA HISTÓRICA PARA CONOCER LA BIODIVERSIDAD

Introducción

Si se preguntara a diferentes personas qué hace especial al planeta Tierra, tal vez habría diferentes respuestas según la formación o antecedentes de cada sujeto interrogado. Quizá alguien mencionaría lo inmenso y azul de los océanos, pero casi con seguridad, la mayoría haría referencia a cualidades planetarias como una atmósfera que nos protege de radiaciones externas y contiene el aire que respiramos, o al conjunto de condiciones físicas (distancia al sol, temperatura, gravedad) y químicas que de alguna manera han permitido el surgimiento y la diversificación de la vida. Sin la necesidad de ser biólogos, nos lleva poco pensar en la vida como una cualidad muy especial de nuestro planeta. No obstante, es raro que nos detengamos a pensar que nosotros también somos seres vivos, como muchos más que pueblan el planeta. Dentro de la ciencia, en particular dentro de la biología, es la sistemática la disciplina que nos sitúa en perspectiva sobre quiénes somos y por quién estamos acompañados en este largo viaje planetario por el Universo.

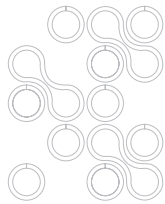
Biología general vs. biología comparada

Los seres vivos son estudiados con diferentes enfoques y motivaciones. Diferentes tipos de "biólogos" usan lentes mentales particulares que les permiten ver y comprender lo vivo desde diferentes ángulos. En ocasiones el enfoque es aplicado, centrado en alguna de las muchas especies de importancia económica. En el mismo sentido, el médico estudia la especie humana con el fin de entender cómo funciona el cuerpo, en varios niveles de organización, desde el genético y molecular hasta el de sistemas de órganos, pasando por células y tejidos, ocasionalmente llegando al todo del cuerpo humano e incluso al nivel poblacional. En este esquema mental, cualquier especie que sirva como modelo para estudiar algún proceso biológico puede ser utilizada, extrapolando de ella alguna hipótesis o conclusión que se deduce hacia lo vivo, muchas veces acotado o entendido como lo humano. Esta es la llamada biología general, que busca entender los procesos generales o comunes a toda la vida (WILEY y LIEBERMAN, 2011).

Por supuesto que hay mucho, muchísimo qué estudiar, de una sola especie. Lo importante estriba en que la anatomía desmenuza y atomiza de manera descriptiva un todo en sus partes, mientras que la morfología compara, interpreta y sitúa la forma en contexto, no sólo en relación con otras partes, sino en relación con la misma parte en otros seres vivos, emparentados y lejanos. Éste es el enfoque de la biología comparada, que busca patrones biológicos (WILEY y LIEBERMAN, 2011) en un contexto histórico o evolutivo de la vida.

Un proceso fisiológico, por ejemplo, puede estudiarse desde el punto de vista de la biología general. El enfoque aquí es sobre todo entender los pasos de una ruta metabólica o bioquímica, como la fotosíntesis o la respiración celular. Por ejemplo, cuándo

surge en la historia evolutiva de un grupo biológico o taxón, si está presente sólo en las especies del grupo, o si lo está en especies de grupos lejanos de manera que se trate de orígenes independientes del proceso, e incluso si el mecanismo se ha modificado a través de la historia evolutiva del grupo, son preguntas que se enmarcan en la biología comparada. La principal disciplina que opera al interior de este marco conceptual es la sistemática, y otras son la biogeografía, la embriología y la paleontología (MORRONE Y ESCALANTE, 2009).



[1] El argumento es erróneo porque "el mono" (podría considerarse una especie de chimpancé en particular) y el *Homo Sapiens* son especies contemporáneas emparentadas, no podría una de ellas ser el ancestro de la otra; lo correcto sería decir el mono está emparentado con *Homo sapiens* o, de manera más técnica, el chimpancé es el grupo hermano del hombre.

[2] Las especies son mosaicos de caracteres heredados de ancestros pasados en diferentes tiempos (plesiomorfias), del pasado legando al reciente, hasta llegar a los caracteres que son únicos de cada especie (autapomorfias). Esto se describe para la especie humana en el libro del paleontólogo Neil Shubin, *Your Inner Fish* (New York: Random House, Inc., 2009).

Evolución y sistemática

Cuando se habla de evolución, generalmente viene a la mente la vida del pasado, fósiles y dinosaurios, así como "el eslabón perdido" o cómo pudo derivar el hombre del mono (lo cual por cierto es un razonamiento erróneo¹). Bajo esta idea se concluye que de manera intuitiva aparece la historia cuando se habla de evolución. Efectivamente, la evolución es historia, es cambio a través de mucho tiempo, el cual deja un rastro en el registro fósil, pero también en los mismos atributos morfológicos y fisiológicos de cada especie.² Con frecuencia para el biólogo, evolución significa adaptación, es decir, cambio de generación en generación con base en la acción de la selección natural, cambio que explica que las diferentes especies estén en aparente armonía con su ambiente y con sus condiciones físicas y que puedan subsistir en los distintos hábitats. Así, la evolución es un hecho, algo que ocurre y ha ocurrido, pero que no podemos ver de manera directa por la escala de tiempo en la que ocurre. Algo así como que la Tierra es redonda, aunque por mucho tiempo aceptamos que era plana. Pero la evolución es también una teoría, o, mejor dicho, un conjunto de teorías, de las cuales la más importante es la de la selección natural, que como ya se dijo, explica el mecanismo para el cambio adaptativo. Por lo

tanto, la evolución es un hecho, tiene mecanismos para ocurrir y deja un rastro histórico en varios formatos, de los cuales el más integral es el árbol de la vida (LECOINTRE y Le GUYADER, 2006).

Los sistemáticos creen que existe un árbol de la vida (WILEY, 1981). Haeckel fue pionero en enfatizar las relaciones de parentesco a través del tiempo en la presentación de árbol (WHEELER, 2012). Si es contraintuitivo poder ver el hecho de la evolución, así como lo es ver la redondez de la Tierra, su giro alrededor del sol, la deriva continental o la expansión del Universo, es aún más aventurado poder ver el árbol de la vida. Éste también se conoce como filogenia. Es la secuencia de eventos históricos a partir de un origen único de la vida, de un linaje ancestral, con múltiples bifurcaciones y multifurcaciones (incluso algunas fusiones), de manera que se tenga toda la serie de eventos de especiación que han dado lugar a la diversidad biológica, actual y extinta.

El árbol es análogo a una genealogía, sólo que en ésta son individuos los que se unen y tienen descendencia, formando un diagrama más bien similar a una red. En un árbol filogenético, una especie ancestral da lugar a especies hijas, en un evento de especiación; luego una especie hija se convierte en una especie ancestral o parental y da lugar a otras especies en un subsecuente evento de especiación. Hennig (1966), el fundador de la sistemática filogenética moderna, llamó relaciones tocogenéticas a las primeras (las redes de flujo génico entre individuos en una población o entre poblaciones) y relaciones filogenéticas a las segundas (las relaciones entre especies generadas por eventos de especiación y documentadas por caracteres compartidos homólogos especiales llamados sinapomorfías). Así, Hennig delimitó con claridad el campo de acción de la sistemática al estudio de las especies y las relaciones entre ellas, lo cual se ha llamado clasificación o sistematización (LINCOLN *et al.*, 2009). En esencia, se trata del descubrimiento del árbol de la vida y una consiguiente clasificación de acuerdo con las relaciones filogenéticas de las especies.

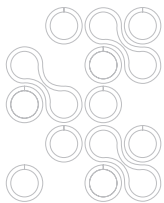


Sistemática y biodiversidad

La sistemática, entonces, es el estudio de la diversidad de la vida, pero en vez de estudiarla como un corte en el tiempo, pretende estudiarla a través de la historia evolutiva de la vida, es decir, en un contexto histórico (CONTRERAS-RAMOS y GOYENECHEA, 2007). Para lograr este enorme objetivo que es descubrir el árbol de la vida, la sistemática debe describir las pequeñas hojas que lo integran: las especies. El descubrimiento, descripción y clasificación de estas especies individuales queda en manos de la taxonomía³ (WILEY y LIEBERMAN, 2011), que es responsable de otorgarle un nombre a cada especie (ALBERCH, 1993), además de generar una primera aproximación a su ubicación en el gran árbol de la vida. La sistemática, de manera integral, se vale de la evidencia disponible, que puede ser uno o más ejemplares con caracteres morfológicos, aunque también, cada vez más, con caracteres de tipo molecular o de comportamiento. Elabora hipótesis sobre la ubicación de las especies en el árbol de la vida, es decir, propone hipótesis filogenéticas, y así avanza gradualmente en el descubrimiento de la historia evolutiva de la vida. Por lo tanto, para el sistemático cada especie en sí misma es un objeto de estudio, su posible estatus como especie (que se relaciona con el problema ontológico de la especie en sí), los caracteres que la describen, su distribución geográfica y su historia natural, así como sus relaciones con otras especies del grupo, es decir, su filogenia.

Las hipótesis filogenéticas permiten la inferencia sobre atributos de una especie o de grupos de especies, la evolución de dichos atributos, así como el establecimiento de prioridades para conservar especies o sus áreas de distribución (PURVIS *et al.*, 2005). Si bien Mayr (1988) hablaba del pensamiento poblacional (un avance sobre el fijismo de las especies y el pensamiento esencialista que asume que un solo carácter las puede definir, esto es lo que él llamó pensamiento tipológico), ahora puede hablarse del pensamien-

to filogenético. Como aportación más básica, el pensamiento filogenético, establecido por Hennig, fue capaz de discernir entre similitud primitiva, es decir, la similitud otorgada por una ancestría lejana, y la similitud reciente o derivada, debida a compartir un ancestro reciente. Discernir entre estos dos tipos de similitud (v.gr., simplisiomorfa o similitud primitiva vs. sinapomorfa o similitud derivada) no es trivial, dado que permite la visión de un patrón histórico o real de relaciones al desenmascarar un patrón artificial, aparentemente intuitivo pero equivocado. Toda proporción guardada, la aportación es equivalente al cambio de la visión de una tierra plana a una tierra redonda, o de un geocentrismo a un heliocentrismo



[3] Existen varios puntos de vista sobre el significado y la relación entre los términos taxonomía y sistemática. Es común que se acepte una relación de subordinación de la taxonomía como una subdisciplina descriptiva, dentro del campo superior de la sistemática, que así engloba una gradación desde taxonomía y nomenclatura, hasta filogenia y sistematización. No obstante, debe recordarse que para Ernst Mayr existían la taxonomía alfa, beta y gamma, por lo cual también se incluiría la amplitud de tareas de la sistemática. Para profundizar en el tema se recomienda a Nieto-Nafría (1999).



en el Sistema Solar. Un ejemplo típico sería agrupar a orangutanes (*Pongo*), gorilas (*Gorilla*) y chimpancés (*Pan*) en su propio taxón, la familia Pongidae, mientras que los humanos, que son más cercanos filogenéticamente al chimpancé se colocan en su propia familia, Hominidae. El "espejismo" de similitud primitiva (simplesiomorfía) sería responsable de formar esa familia Pongidae, cuando todos estos linajes deben estar en un solo grupo monofilético o natural. Los rasgos derivados de los humanos, pero sólo de los humanos (v.gr., autapomorfías) serían responsables, al mismo tiempo, de colocarlos aparte, en su propia familia, creándose el grupo artificial Pongidae (de acuerdo con el ejemplo).

Por supuesto, la biodiversidad puede estudiarse desde otros puntos de vista. Hay muchas preguntas importantes, como ¿qué función tiene una especie en una comunidad biológica o ecosistema?, ¿cuál es su tasa de crecimiento intrínseca? o ¿cuál es la proporción de los individuos de una especie con respecto a los de otra? Éstas son sólo unas cuantas preguntas, como muchas otras que existen en el campo de la ecología y del estudio de la biodiversidad. Por supuesto, entender al final una comunidad o un ecosistema, parte de entender qué especies hay ahí de forma individual y cuáles son sus relaciones tróficas y energéticas.

La ecología, la sistemática, la evolución y otras disciplinas como la biología de la conservación, son sólo caras de una misma moneda, aspectos estudiados de un mismo fenómeno, la vida y su diversidad.

La sistemática y su futuro en México

Ledesma (2000) ha postulado que una ciencia no se consolida como tal hasta que cuenta con verdaderos paradigmas. Puede aventurarse que la sistemática se ha consolidado como una verdadera disciplina científica, en cuanto que es capaz de postular hipótesis falsables, que van desde el nivel de una especie individual (v.gr., la descripción de una especie nueva para la ciencia), a la propuesta de una hipótesis de relaciones filogenéticas (v.gr., una filogenia). Como la sistemática es una disciplina histórica, es decir, la inferencia filogenética es una predicción hacia el pasado, debe recurrir a evidencia indirecta para que sus hipótesis sean falsadas. Esa evidencia indirecta consiste en los caracteres homólogos, que apoyan (o rechazan) la hipótesis de grupos monofiléticos, es decir, grupos que tuvieron un punto de inicio real en el tiempo, por tanto que se postula se derivan de una sola especie ancestral, única para la totalidad de miembros del grupo.

Los siguientes pueden considerarse paradigmas de la sistemática:

1. La vida, es decir, la diversidad biológica, se manifiesta en unidades cohesivas llamadas especies, enlazadas por el flujo genético vertical y horizontal.
2. Las especies poseen identidad e individualidad propias, otorgadas por una historia evolutiva única, y se manifiestan en distintos tipos de evidencia.
3. Los caracteres taxonómicos definidos a partir de un análisis comparado son la base para descubrir y proponer taxones en la naturaleza.
4. Dado que los eventos de especiación (por el cual las especies se multiplican) dejan un rastro de caracteres compartidos, dichos caracteres

- (llamados homólogos) sirven para relacionar especies y proponer grupos de especies (especies hermanas y grupos monofiléticos).
5. Las especies tienen una existencia real en la naturaleza como grupos de organismos (poblaciones) que se mantienen cohesionados de generación en generación, como linajes limitados en el espacio y el tiempo, con una participación en procesos naturales.
 6. Los grupos monofiléticos son grupos de especies con una realidad histórica, es decir con una historia propia pero compartida entre las especies que los conforman, que se remonta a la existencia de una sola especie ancestral. Por lo tanto, debió existir un mamífero ancestral, un primate ancestral, un homínido ancestral y así sucesivamente.
 7. Los caracteres derivados compartidos (sinapomorfías) son evidencia de la existencia de un grupo monofilético y pueden considerarse heredados en tiempo evolutivo de la especie ancestral a las especies hijas.
 8. La historia evolutiva de la vida o filogenia es sólo una, dada por la serie de eventos de especiación que ha generado la diversidad de la vida y su descubrimiento es a través de hipótesis de reconstrucción filogenética que se van confirmando o rechazando con el avance del conocimiento filogenético.

En años recientes, en países desarrollados como los Estados Unidos, existió un desbalance en la formación y contratación de nuevos investigadores, de manera que se dio un fenómeno de "extinción" de especialistas taxónomos (WILSON, 1985). Aunque se ha recapacitado y se han implementado programas de financiamiento para trabajo taxonómico clásico, el cambio en el énfasis disciplinario ha tenido un profundo efecto que no es reversible en sólo unos cuantos años. Esto, aunado a las tendencias de vanguardia en inferencia filogenética con base en caracteres moleculares, ha causado que el enfoque molecular domine el escenario en el estudio sistemático de la biodiversidad. Las ventajas de la sistemática molecular, a la par de los avances conceptuales y tecnológicos recientes (v.gr., inferencia filogenética con base en modelos de evolución de los marcadores, secuenciación robotizada, secuenciación de genomas), apuntan hacia una nueva síntesis o, quizá, hacia una nueva interacción interdisciplinaria entre campos como la taxonomía, filogenia, especiación, biogeografía, filogeografía, cambio climático, biología evolutiva del desarrollo, etcétera.

La morfología de vanguardia también ha tenido un renacimiento, que ha sido menos visible, pero que augura descubrimientos con base en análisis rigurosos clásicos o por medio de tecnología, como la microscopía electrónica de barrido o la tomografía computarizada. La combinación de estos factores, en gran medida, es lo que se ha llamado recientemente taxonomía integrativa (v.gr., SCHLICK-STEINER *et al.*, 2010).

En un país megadiverso como México, la sistemática posee un amplio compromiso para documentar la diversidad de los diferentes grupos biológicos. La naturaleza megadiversa de su biota justifica una cuidadosa reflexión sobre su valor intrínseco, económico, intangible y cultural. Los taxónomos y las colecciones científicas, además de las áreas naturales protegidas, son componentes sustanciales de una estrategia para

conocer ese acervo natural que ha evolucionado en el territorio nacional. Las áreas de oportunidad en México son enormes. Además de montarse a la ola conceptual y tecnológica de las tendencias mundiales, este país debe apoyarse en sus características propias, como ser un país con una alta complejidad fisiográfica y un alto grado de endemismo (v.gr., RAMAMOORTHY *et al.*, 1998). Esto hace que el país sea un laboratorio natural para estudiar la biodiversidad en todo el gradiente disciplinario y en sus múltiples interacciones con otros campos.

El que existan enfoques y tecnologías de frontera no implica que la taxonomía descriptiva haya perdido su relevancia. Los países desarrollados que marcan las líneas de vanguardia en ciencia poseen sólo una fracción de la riqueza biológica de México. Es correcto cultivar los enfoques de frontera, pero no debe soslayarse que la exploración biológica sólo ha tocado la punta del iceberg de la biodiversidad mundial, y México es un ejemplo de esto. No debe perderse de vista el valor primario de la ciencia descriptiva (GRIMALDI y ENGEL, 2007). La biodiversidad es parte del patrimonio natural, también es un recurso estratégico (v.gr., SARUKHÁN y DIRZO, 1992).

Conclusiones

Existen al menos tres grandes áreas de oportunidad para la sistemática en México: 1) Análisis de inferencia filogenética en grupos mayores (v.gr., relaciones de los grandes grupos de artrópodos); 2) Trabajo de exploración de biodiversidad en áreas poco exploradas y en grupos poco estudiados (v.gr., órdenes de insectos en diferentes regiones del país); por supuesto, estas áreas pueden complementarse con filogenia morfológica, filogenia con análisis simultáneo (evidencia total) y código de barras de DNA y 3) Aplicaciones en grupos de interés económico como el biomédico, etnobiológico, así como el de importancia forense, que ameritan estrategias básicas como la caracterización morfológica y molecular de las especies, así como el análisis de sus propiedades o principios activos.

Bibliografía

- [1] ALBERCH, P. "Museums, collections and biodiversity inventories". *Trends in Ecology and Evolution*. 1993, 8: 372-375.
- [2] CONTRERAS-RAMOS, A. e I. Goyenechea. 2007. "La sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad", En: CONTRERAS-RAMOS A., C. Cuevas Cardona, I. Goyenechea y U. Iturbe (eds.). *La sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad*. México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca. pp. 11-21.
- [3] GRIMALDI, D. A. y M. S. Engel. "Why descriptive science still matters". *Bioscience*. 2007. 57: 646-647.
- [4] HENNIG, W. *Phylogenetic systematics*. Urbana: University of Illinois Press, 1996.

- [5] LECOINTRE, G. y H. Le Guyader. *The tree of life*. Cambridge: Harvard University Press, 2006.
- [6] LEDESMA, I. *Historia de la biología*. D.F.: AGT Editor, S. A., 2000.
- [7] LINCOLN, R. J., G. A. Boxshall y P. F. Clark. *Diccionario de ecología, evolución y taxonomía*. D.F.: Fondo de Cultura Económica, 2009.
- [8] MAYR, E. *Toward a new philosophy of biology*. Cambridge: Harvard University Press, 1988.
- [9] MORRONE, J. J. y T. Escalante. *Diccionario de biogeografía*. D.F.: Facultad de Ciencias, UNAM, 2009.
- [10] NIETO-NAFRÍA, J. M. "Sobre sistemática, taxonomía y otros términos relacionados". *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 1999, 26: 41-44.
- [11] PURVIS, A., J. L. Gittleman y T. Brooks (eds.). *Phylogeny and conservation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [12] RAMAMOORTHY, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.). *Diversidad biológica de México. Orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM, México, D.F.
- [13] SARUKHÁN, J. y R. Dirzo. *México ante los retos de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, México, D.F. 1992.
- [14] SCHLICK-STEINER, *et al.* "Integrative taxonomy: a multisource approach to exploring biodiversity". *Annual Review of Entomology*. 2010, 55: 421-438.
- [15] WHEELER, W. C. *Systematics. A course of lectures*. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2012.
- [16] WILEY, E. O. *Phylogenetics. The theory and practice of phylogenetic systematics*. New York : John Wiley & Sons, 1981.
- [17] WILEY, E. O. y B. S. Lieberman. *Phylogenetics. Theory and practice of phylogenetic systematics*, 2da ed. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2011.
- [18] WILSON, E. O. "Time to revive systematics". *Science*, 1985, 230: 1227.