

BASES FILOSOFICAS DE LOS ANALISIS CLADISTICOS PARA LA INVESTIGACION TAXONOMICA¹

EFRAIN DE LUNA

Instituto de Ecología
Apartado Postal 63
91000 Xalapa, Veracruz, México

RESUMEN

Los cambios significativos en la teoría sistemática originados por el uso amplio de métodos cladísticos no han llegado a la mayoría de los taxónomos de habla hispana. Esta contribución revisa tres aspectos de la relación entre la filosofía de la ciencia y la sistemática, basada en el examen de la literatura relevante: I) La ontología de los grupos naturales. Aquí se señala que la filosofía fenética está asociada con la visión ontológica que considera los grupos como "clases", mientras que la de la cladística es compatible con el concepto de taxa como "individuos". II) Bases para la clasificación. El debate acerca de estas bases se centra en la cuestión si todas las similitudes en sí mismas (enfoque fenético) o las homologías inferidas a partir de ciertas semejanzas especiales (enfoques evolucionista y cladístico) pueden usarse para construir una clasificación. III) La prueba de hipótesis. Las discusiones conciernen directamente a la índole científica de cada una de las tres principales escuelas de la sistemática. La doctrina fenética que pretende ser "neutral respecto a teorías" y la evolucionista, sin un sistema crítico para evaluar hipótesis, quedan eliminadas como "ciencia" bajo un punto de vista popperiano. La filosofía cladística es un programa científico robusto ya que incorpora un sistema explícito para la refutación de proposiciones a todos los niveles de análisis de caracteres y de cladogramas. En conclusión, se argumenta que la selección de una metodología para la clasificación no debe basarse en ventajas operativas, sino que debe ser una consecuencia de la elección previa de una posición ontológica.

ABSTRACT

This paper reviews three aspects of the relationship between systematics and philosophy, based on an examination of the relevant literature: I) Ontology of natural groups. It is pointed out that phenetic philosophy is associated with an ontological view that natural groups are "classes", whereas cladistic philosophy is compatible with a concept of taxa as "individuals". II) Bases for classification. The debate about these bases is whether all similarities by themselves (phenetic approach) or inferred homology based on special similarities (cladistic and traditional approaches) should be used to construct a classification. III) Hypothesis testing. This problem concerns directly the scientific status of each of the three main systematic approaches. The phenetic philosophy that claims being "theory neutral" and the traditional approach without a critical system to test hypothesis are eliminated as "scientific" under popperian criteria. Cladistic philosophy is a robust scientific program because it evolves an explicit and

¹ Con este trabajo se abre la opción de exponer temas selectos de puesta al día y de reflexión, sujetos a discusión, sin que ellos constituyan necesariamente una contribución original al conocimiento botánico (Nota de los editores).

rigorous system for hypothesis refutation at all levels of character and cladistic analysis. In conclusion, it is argued that the selection of an approach to systematics should not be based on operative advantages, but must be a consequence of selecting first an ontological position.

INTRODUCCION

En años recientes se ha generado una cantidad impresionante de cambios metodológicos y conceptuales en la clasificación biológica. Estos se han dado fundamentalmente en dos direcciones paralelas, una, en la tecnología y procedimientos para la obtención de datos, y otra en los conceptos y métodos para el análisis e interpretación de esta información. Por un lado, la disponibilidad de nuevas tecnologías ha permitido el muestreo de caracteres previamente no conocidos. Por ejemplo, a los rasgos morfológicos siguieron los de micromorfología sólo visibles mediante los microscopios electrónicos de barrido y de transmisión. Posteriormente se dispuso de datos citológicos, tales como conteos cromosómicos y, de información bioquímica, basada sobre todo en flavonoides, isoenzimas y secuencias de aminoácidos (Bisby et al., 1980; Ferguson, 1980; Grant, 1981; Grant, 1984); la tendencia reciente consiste en muestreos de secuencias de ácidos nucleicos (Dutta, 1986; Patterson, 1987; Soltis et al., 1992). Por otro lado, se han desarrollado nuevos procedimientos para el análisis de datos en la sistemática. Como alternativas a los enfoques evolucionistas (Mayr, 1969; Stuessy, 1990) se propusieron métodos fenéticos para la delimitación de taxa mediante criterios numéricos (Sneath y Sokal, 1973), así como los cladísticos para la valoración de caracteres homólogos y la definición de grupos monofiléticos (Hennig, 1966).

Aunque las nuevas formas de obtención de datos han vigorizado los estudios sistemáticos, son los cambios en los métodos de su análisis los que han tenido una influencia más significativa en la taxonomía. De hecho, los procedimientos de análisis, especialmente los cladísticos, también han influido en las bases conceptuales y metodológicas de otras áreas de la investigación biológica, particularmente de la ecología y la evolución (Brandon, 1978; Brooks y McLennan, 1991; Carpenter, 1989; Coddington, 1988; Felsenstein, 1985; Harvey y Pagel, 1991; Wanntorp et al., 1990).

Esta revolución conceptual iniciada con los métodos cladísticos ha revitalizado a la sistemática mediante la formalización de los procesos para la evaluación de hipótesis sobre caracteres y grupos taxonómicos (Cracraft, 1974; Felsenstein, 1983; Nelson, 1970; Wiley, 1981). Sin embargo, tal revitalización teórica y práctica aún no ha tenido eco en los estudios sistemáticos en Hispanoamérica, salvo las escasas excepciones de algunos investigadores sudamericanos como Cigliano, Crisci, Domínguez, Morrone y Schrochi (Llorente, com. pers.) y pocos mexicanos como Dávila, Dorado, Villaseñor y Sosa. Es difícil apreciar con claridad cuáles son las causas de esta situación. En parte podría ser la "resistencia" personal de los especialistas ya establecidos a cualquier nuevo procedimiento, sea éste para la colecta de datos o para su análisis. Otro factor podría ser la "inmunización" de los taxónomos jóvenes ante las discusiones sobre los nuevos métodos mediante la influencia de profesores y literatura convencional. También es posible que la "inaccesibilidad" física y lingüística a la literatura pertinente haya impedido la difusión y discusión tanto de la teoría cladística como de las ya numerosas aplicaciones disponibles que podrían servir como modelos para nuestros estudios sistemáticos (Bremer, 1987; Donoghue, 1983; Kellogg y Campbell, 1987).

En Hispanoamérica, ya sea por “resistencia”, “inmunización” o “inaccesibilidad”, la filosofía, los conceptos y los métodos cladísticos aún son mal entendidos o poco conocidos. Esta situación no ha estimulado a los taxónomos intelectualmente ávidos de cuestionar teorías y métodos, ni ha satisfecho a aquellos que desean aplicar procedimientos formales de análisis en sus estudios.

La presente revisión, primera de una serie, pretende resaltar el cambio filosófico que caracteriza la teoría y los métodos cladísticos. Se argumenta que tal giro permite reconocer el enfoque cladista como una alternativa robusta para la investigación taxonómica basada en una ontología “racionalista crítica y evolucionista”. Esto no quiere decir que existe una sola abstracción válida, porque desde el punto de vista de la filosofía tal argumento no podría sostenerse. Hay otras conceptualizaciones igualmente aceptables, por ejemplo, i) la aristotélica y creacionista de la taxonomía tradicional o linneana (ésta no será tratada en la presente discusión), ii) la convencionalista y esencialista de la escuela evolucionista o gradista, iii) la positivista y esencialista de la metodología fenética. Sin embargo, desde el punto de vista filosófico es posible argumentar y reconocer la debilidad o robustez relativa de cada conjunto de conceptos y teorías en competencia. Bajo esta perspectiva, se puede valorar que en comparación con los enfoques evolucionista y fenético, el cladístico es el único método sólido con una ontología evolutiva. En esta contribución se pretende mostrar que la teoría asociada al enfoque cladista es robusta cuando se examinan las discusiones sobre la naturaleza conceptual de los grupos naturales, las bases para la clasificación y la prueba de hipótesis.

Los argumentos en esta revisión corresponden al plano filosófico y no al metodológico ni empírico. Tales razonamientos acarrear su propia complejidad y aversión, por lo que las discusiones pueden fácilmente calificarse como obscuras, ininteligibles e incluso absurdas, particularmente si el significado de algunas palabras se percibe desde un punto de vista distinto al conceptual. Es por esto que, en lo posible, se usarán comillas para señalar aquellos términos que deben interpretarse en su sentido especial aceptado por los filósofos. Con tal aclaración de intención y contenido no se pretende ofender al lector informado, pero parece necesaria en vista de lo fácil que pudiera interpretarse equivocadamente el contenido de esta revisión, misma que presupone un conocimiento básico de términos de los métodos fenético y cladístico. Para quien se interese en seguir en detalle las discusiones que aquí se esbozan se recomienda la consulta directa de la literatura referida. De hecho, la presente contribución debe considerarse como una guía a esa literatura primaria. Incluso el examen somero del contenido de los volúmenes de revistas como *Cladistics*, *Systematic Botany* y *Systematic Zoology* (los números recientes ahora con el nombre de *Systematic Biology*) permite descubrir detalles de la secuencia temporal de las discusiones teóricas y la depuración de los conceptos y métodos en la taxonomía.

FILOSOFIA Y SISTEMATICA

La condición de la sistemática como ciencia no ha sido fácil de percibir ni de justificar, especialmente por el énfasis desequilibrado que muchos taxónomos han dado a los métodos usados para la colección de datos (morfológicos, bioquímicos, etc.) y no a los

de análisis (fenéticos, cladísticos). Es cierto que la sistemática es una disciplina que integra conocimientos diversos, por ejemplo, de la biología molecular, de la ultraestructura celular, de la ontogenia, de la morfología y de la ecología; por lo que se han desarrollado metodologías especializadas para obtener esta información (Davis y Heywood, 1965; Stace, 1989). Sin embargo, la atención y las discusiones sobre los procedimientos usados para el análisis de los datos es lo que realmente ha formalizado a la sistemática como ciencia (Bock, 1974; Hull, 1981, 1984, 1988; Humphries y Chappill, 1988; Kitts, 1977; Settle, 1979; Sober, 1984, 1988; Wiley, 1975). En esta sección se dan a conocer someramente los temas principales de tales argumentos filosóficos sobre métodos de análisis.

Los temas en cuestión se han agrupado en tres categorías que incorporan los aspectos conceptuales que deben ser considerados por todo taxónomo: grupos naturales, clasificación e hipótesis. Este acomodo constituye simplemente una forma práctica de ordenar la presente revisión. En cada categoría se contrastan las disyuntivas teóricas y las consecuencias metodológicas para el análisis de datos en la sistemática. Es imperativo que se reconozca que en cualquier enfoque que se practique (evolucionista, fenético o cladístico), la elección de un procedimiento particular de análisis está asociada a una posición ontológica particular. La mayoría de las veces los estudios taxonómicos se realizan sin percatarse de estas implicaciones filosóficas. Es responsabilidad del sistemático estar apercibido y hacer explícita tal asociación conceptual entre el método del que es usuario y el conjunto de conceptos y teorías del que es partidario. Debido a que es inevitable trabajar bajo una postura ontológica específica, es mejor seleccionar una de forma consciente, que inadvertidamente.

I) Grupos naturales: ¿“clases” o “individuos”?

La primera disyuntiva filosófica que un sistemático enfrenta es decidir cuál es el estado ontológico de las unidades biológicas de comparación, es decir, de los taxa a clasificar. El problema de las “clases naturales” es uno de los aspectos de abstracción que mayor influencia ha tenido en la sistemática. Las discusiones tanto de filósofos como de taxónomos se han polarizado hacia dos posiciones principales. En una de ellas, se propone que la realidad del universo está organizada en unidades que tienen existencia espacial y temporal determinada. Estas se han denominado “individuos” porque poseen características semejantes a las de los individuos reales, como por ejemplo, tienen un inicio, un desarrollo con cambios en su constitución y un fin. La presencia de este tipo de entidades se debe a procesos e interacciones que mantienen cohesividad entre los elementos incluidos. Consecuentemente un grupo natural conceptualizado así no puede definirse por un conjunto de características intrínsecas, porque éstas sufren transformaciones en el tiempo. Los “individuos” pueden descubrirse por conectores espacio-temporales, es decir, el estado del “individuo” en un momento y lugar particular está ligado a otro estado en otro tiempo y sitio por conexiones históricas y espaciales.

La posición filosófica alternativa propone que la realidad del universo está organizada en unidades que existen independientemente y sin restricción de límites temporales o espaciales. Estas unidades se han denominado “clases” y tienen características semejantes a las categorías reales. Una “clase” ontológica puede ser reconocida y definida por ciertos

atributos exclusivos. La inclusión y cohesividad de los elementos en una “clase” está dada por la condición necesaria de poseer los atributos exclusivos o una combinación de características esenciales que la definen (Ghiselin, 1966, 1969, 1981; Hull, 1976, 1978; Kitts, 1987; Mayr, 1988).

Una pregunta filosófica que como taxónomos debemos hacer en relación al estado ontológico de los taxa que clasificamos es: ¿estamos tratando con “individuos” o con “clases”? El enfoque cladístico de la sistemática está basado en una concepción “evolucionista” y es compatible con la abstracción de los taxa como “individuos”. Ontológicamente, los grupos monofiléticos se conciben en consecuencia como unidades discretas, es decir, restringidas en el espacio y en el tiempo; epistemológicamente pueden descubrirse mediante el patrón congruente de similitudes especiales transmitidas por herencia a todos los miembros del grupo. Tales semejanzas especiales que revelan la conexión histórica entre los organismos son las sinapomorfias. La existencia, continuidad y cohesividad de los elementos incluidos en estos taxa están en función de procesos biológicos (por ejemplo, aislamiento reproductivo) y no de la condición de que los elementos incluidos posean aquellos atributos que definen al grupo (Ghiselin, 1980; Griffiths, 1974; Hennig, 1966; Hull, 1978; Patterson, 1978; Platnick, 1977; Rieppel, 1986; Wiley, 1981).

En contraste, el enfoque de clasificación fenético es compatible con el concepto de que los taxa se consideran ontológicamente como “clases” (McNeill, 1979; Sneath, 1983; Sneath y Sokal, 1973). Epistemológicamente estos grupos pueden construirse mediante el patrón de similitud total entre los elementos incluidos. Este enfoque está basado en una ontología “esencialista”: los taxa pueden definirse en términos de la posesión de atributos intrínsecos, o por la combinación esencial de varios atributos. La construcción y definición de taxa no depende de descubrir la conexión histórica entre los organismos, ni de los procesos biológicos que contribuyen a su existencia, mantenimiento y cohesividad.

La posición filosófica implícita en el enfoque de la sistemática evolucionista (o gradista) es ambigua. Por un lado, algunos autores opinan que conceptualmente los taxa corresponden a “clases”, pero otros como Mayr (1969, 1976) han expresado que los taxa pueden ser considerados como “individuos”. Por otro lado, bajo una ontología “esencialista” (Hull, 1965) se recomienda metodológicamente reconocer grupos con base en la presencia de atributos que los definen (propiedad de “clases”) y en el grado de conexión histórica (propiedad de “individuos”) (Ashlock, 1979; Bock, 1977; Gingerich, 1979; Gould, 1980; Mayr, 1969, 1981; Michener, 1978; Simpson, 1961). Del mismo modo, la ambigüedad ontológica también es evidente entre los taxónomos que han seguido la sugerencia (Mayr, 1982; Stuessy, 1990) de combinar resultados de métodos fenéticos (patrón de similitud total) y cladísticos (grados de conexión histórica) como base para la clasificación. Igualmente imprecisa es la posición ontológica de los que han seguido la sugerencia de que la elección de métodos de análisis depende del nivel taxonómico, argumentando que los procedimientos cladísticos son apropiados para grupos muy inclusivos (familias, órdenes), pero que los métodos fenéticos son más idóneos a nivel de especie o de poblaciones (Duncan y Baum, 1981). La ambigüedad radica en que éstos últimos se conciben ontológicamente como “clases”, pero los más inclusivos (familias, órdenes) se conceptualizan como “individuos”.

II) Clasificación: ¿similitud o filogenia?

Otra disyuntiva filosófica en la sistemática es la de distinguir cuál es el conocimiento confiable como base para clasificar la diversidad biológica. Este problema conceptual está relacionado con los diferentes tipos de abstracción de la realidad del Universo. Es un cuestionamiento elemental de la filosofía de la ciencia y se ha discutido ampliamente bajo los rubros de “objetivismo”, “racionalismo”, “idealismo” y “realismo” (Angeles, 1981). Tales posiciones alternativas han influido sobre la concepción ontológica de la organización de la diversidad biológica, las semejanzas entre organismos y su origen histórico. Acorde con la teoría evolutiva (Eldredge y Cracraft, 1980; Futuyma, 1986; Vrba y Eldredge, 1984), los patrones de similitud son el resultado de descendencia común con el efecto de la modificación. Sin embargo, estos eventos evolutivos y las relaciones filogenéticas entre taxa hermanos son sucesos históricos únicos y por lo tanto, inaccesibles para su análisis directo.

Por un lado, la concepción “objetivista” para estudiar la naturaleza propone que sólo puede investigarse lo que puede descubrirse por la experiencia. El universo fuera de lo empírico yace en el mundo de las “ideas”, no tiene realidad práctica, sólo la teórica, metafísica u ontológica. Desde el punto de vista del “objetivismo”, el conocimiento científico se basa en la evidencia real, derivada de experiencias sensoriales. Además, el discernimiento genuino debe ser libre de, o “neutral respecto a teorías”. Cualquier concepción abstracta de la naturaleza, es decir cualquier ontología de su estructura y organización no debe influir en la generación de conocimiento verdaderamente científico. Por otro lado, la concepción “realista” y “racionalista” propone que el Universo tiene existencia real más allá de lo empírico y puede conocerse independientemente de nuestra habilidad metodológica para estudiarlo directamente. El entendimiento auténtico puede obtenerse a partir de la evidencia empírica y también derivado de inferencias. Desde el punto de vista del “racionalismo”, el conocimiento científico es un sistema de hipótesis o inferencias confiables en la medida que éstas se basan en ciertas teorías y se contrastan con la experiencia. Las teorías o concepciones ontológicas sobre la naturaleza, su estructura y categorías influyen en la interpretación de las observaciones y también regulan la eliminación de las proposiciones mediante su contraste y refutación sistemática.

Un problema filosófico en la taxonomía consiste por lo tanto en decidir qué conocimiento es aceptable, es decir, qué información debe usarse como base confiable para la clasificación biológica: las similitudes por sí solas o las inferencias sobre las relaciones filogenéticas. Todo sistemático debe enfrentarse al desafío de decidir qué significan las semejanzas y también debe cuestionarse si es factible y necesario elaborar hipótesis sobre las homologías y la monofilia para reconstruir la filogenia como base para la clasificación. La historia reciente de la sistemática se caracteriza por discusiones que han tratado de justificar dos posiciones conceptuales (Bock, 1974; Estabrook, 1972; Sneath, 1983).

Por un lado, el enfoque cladístico propone que las inferencias filogenéticas son factibles y necesarias como base para la clasificación. Las homologías, los grupos monofiléticos y las relaciones filogenéticas están fuera del dominio empírico, pero de acuerdo con la teoría evolutiva son “reales” y entonces pueden reconstruirse a partir del análisis de las similitudes heredables. Estos caracteres compartidos pueden verse como una ventana al pasado y, por lo tanto, deben interpretarse para elaborar hipótesis sobre

la filogenia (Cracraft, 1983; Farris, 1979; Hull, 1979). Tal posición filosófica como estrategia de la investigación en la sistemática propone el uso de inferencias relativas a las homologías, las sinapomorfias y los grupos monofiléticos como base para la clasificación. La congruencia entre las hipótesis independientes de las homologías y las relativas a las transformaciones de caracteres sinapomórficos son la base para las especulaciones concernientes a la filogenia (Humphries y Funk, 1984; Wiley, 1981; Wiley et al., 1991). Los taxónomos que utilizan el enfoque cladístico argumentan que las sinapomorfias y las hipótesis de filogenia pueden proponerse y examinarse mediante el principio de parsimonia (Beatty y Fink, 1979; Farris, 1983; Kluge, 1984; Sober, 1983a) logrando suficiente rigor metodológico como para usarlas en la construcción de clasificaciones. Tal enfoque se cataloga como histórico, pues la clasificación se deriva de las filogenias reconstruidas (Cracraft, 1974, 1983; Felsenstein, 1979, 1982).

Por otro lado, la filosofía de los procedimientos fenéticos propone que solamente las similitudes tienen existencia real. La filogenia no puede investigarse con certidumbre, únicamente cabe estudiar las semejanzas porque éstas pueden descubrirse y verificarse en forma empírica. Es decir, se concibe ontológicamente que sólo los caracteres compartidos constituyen conocimiento científico confiable y por lo tanto, son la única base justificada para la elaboración de la clasificación (Sneath, 1983). Esta posición conceptual como directriz en la búsqueda de una sistemática apropiada propone un objetivismo y empiricismo crudo: estudiar los caracteres sin recurrir a las interpretaciones de homología basadas en la teoría evolutiva. Los taxónomos que utilizan el enfoque fenético argumentan que no es factible ni necesario elaborar hipótesis filogenéticas para clasificar (Sneath y Sokal, 1973; Sokal, 1986). Por lo tanto, la clasificación se basa en la similitud total entre los taxa. A la escuela fenética se le califica como no-histórica o neutral, pues los métodos eliminan la necesidad de inferencias sobre las homologías y de la reconstrucción de las relaciones filogenéticas (Dunn y Everitt, 1982; Sneath, 1983; Sneath y Sokal, 1973). Algunos de sus proponentes opinan que tales especulaciones filogenéticas pueden hacerse *a posteriori* y únicamente tomando como base la clasificación fenética (Colless, 1971).

La filosofía del enfoque gradista o evolucionista combina los rasgos de una concepción "realista" de la organización de la diversidad biológica con los de una concepción "objetivista". Tal combinación es implícita cuando se postula que las relaciones genealógicas existen, a la vez que se admite que las similitudes son lo único que puede investigarse empíricamente. Es decir, se concibe ontológicamente que las semejanzas pueden interpretarse como homologías para elaborar hipótesis sobre la filogenia, pero éstas por sí solas no pueden ser una base sólida para la clasificación, ya que no hay modo de examinar la verdad o falsedad de tales reconstrucciones históricas. Los taxónomos de esta escuela argumentan que los sistemas de clasificación deben construirse combinando hipótesis de relaciones evolutivas y grados de similitud (Bock, 1974; Mayr, 1969). Tal posición filosófica como estrategia de investigación en la sistemática propone el uso de inferencias sobre homología general (simplesiomorfias y sinapomorfias) como base para la clasificación. Desde el punto de vista operativo, tal base ecléctica que reúne información sobre patrones de homología general e inferencias relativas a la filogenia es atractiva para muchos taxónomos. Su aceptación posiblemente se debe al equilibrio o compromiso metodológico entre el extremo fenético y el cladístico. Incluso, recientemente se han elaborado sugerencias para combinar explícitamente los resultados de análisis fenéticos

y cladísticos en la construcción de clasificaciones (Mayr, 1981, 1982). Tales procedimientos han sido presentados formalmente en lo que ahora se conoce como el enfoque “filético” (Stuessy, 1987, 1990).

III) Hipótesis: ¿verificación o refutación?

Otro escollo conceptual en la sistemática es el de justificar esta actividad como científica. El problema es reconocer cuáles elementos metodológicos deben estar presentes en lo que sería una “buena ciencia”. Los filósofos admiten que son necesarias ciertas reglas en la búsqueda de conocimiento y construcción de inferencias. Sin embargo, las discusiones más significativas en el marco de la epistemología de la ciencia se han centrado en los métodos para la evaluación de hipótesis. Estas discusiones involucran fundamentalmente el análisis de la función de las observaciones en relación al examen de las inferencias. La mayoría de los autores han ofrecido dos enfoques alternativos sobre el papel de la evidencia en tal evaluación (Serrano, 1990). Por un lado, se ha argumentado que buena ciencia es la que corrobora hipótesis mediante la acumulación de datos para su “verificación”. Tal calificación establece que toda proposición tiene que ser sujeta a comprobación para ser considerada científica; el investigador tiene que confirmar las conjeturas y para ésto ha de recurrir a la experiencia. En este sentido la “verificación” y la “objetividad” empírica de las proposiciones son esenciales en su validación como conocimiento científico (Andión et al., 1990; Bunge, 1969, 1989; Kuhn, 1962; Reichenbach, 1945, 1953).

Por otro lado, se ha argumentado que la ciencia filosóficamente aceptable es la que evalúa hipótesis mediante el uso de evidencia para su “refutación” o “falsación”. El requerimiento epistemológico es que toda inferencia para ser considerada “científica” tiene que ser sometida a refutación mediante pruebas severas y sistemáticas. El investigador tiene que hacer lo imposible por falsear las proposiciones y para ésto ha de recurrir a la experiencia. El planteamiento es que la “falsabilidad” y la “objetividad” empírica de las hipótesis son esenciales no en su validación, sino en la justificación de la preferencia de una que aún no se ha refutado. En este sentido, la actividad científica no es otra cosa que una eliminación sistemática e indefinida de errores (Baudouin, 1991; Platt, 1964; Popper, 1959, 1963).

Los filósofos de la ciencia han reconocido que la relación entre observaciones y “contrastación” de hipótesis es asimétrica (Serrano, 1990). En tal evaluación es obvio que la acumulación de verificaciones no corrobora una inferencia definitivamente. En cambio, una sola “falsación”, en principio, puede ser contundente para modificar o incluso para eliminar una proposición. Esta última postura conceptual sostiene que las hipótesis deben ser potencialmente “refutables” y el investigador debe adoptar una actitud de apertura a la crítica al comunicar e interpretar la evidencia generada. Los principios para guiar el proceso epistemológico de la refutación de inferencias se han resumido de la siguiente manera: i) identificar una “teoría” de la cual se deduce el sistema de hipótesis y enunciados, ii) proponer “conjeturas” explícitas que puedan ser criticadas, iii) presentar posibles observaciones o “experimentos cruciales” que potencialmente refutarían las proposiciones, iv) no abandonar una inferencia tan fácilmente (Popper, 1963). Consecuente con esta

posición ontológica popperiana se enfatiza que para hacer ciencia genuina no es importante resolver como construir y comprobar una hipótesis, sino descubrir empíricamente cómo refutarla y mejorarla.

Las discusiones recientes sobre la relación entre observaciones y “falsabilidad” de conjeturas han tenido una influencia profunda en la filosofía de la sistemática contemporánea. El problema es reconocer si cada enfoque particular, cladístico, fenético y gradista, está acreditado epistemológicamente como ciencia. La justificación ofrecida por varios autores es que la refutación potencial de inferencias es la clave para distinguir si un estilo particular de hacer sistemática es ciencia o no lo es (Kitts, 1980; Popper, 1963; Settle, 1979). Obviamente, las exposiciones sobre la teoría de los enfoques cladísticos, fenéticos y gradistas han tratado de justificar la existencia del criterio de falsabilidad o refutabilidad en los métodos propios de cada escuela para la evaluación de hipótesis filogenéticas (Bock, 1974, 1978; Cracraft, 1983; Hull, 1979; Sneath, 1983).

En opinión de varios filósofos (citados en Ruse, 1988; Settle, 1979) los procedimientos fenéticos carecen de fundamento ontológico robusto, porque no satisfacen los criterios popperianos de ciencia. Realmente es difícil encontrar en la literatura autores que defiendan y justifiquen la aplicación de criterios popperianos en estos procedimientos taxonómicos. En cambio, las críticas son numerosas y homogéneas en señalar que la principal debilidad de la filosofía de la escuela fenética es la aspiración de una objetividad pura y neutral respecto a teorías (Ruse, 1979; Settle, 1979). El criterio positivista de demarcación establece que una proposición es “científica” sólo si es verificable. Esto implicaría que las inferencias sobre homologías y relaciones filogenéticas no pueden aceptarse como hipótesis científicas porque no pueden ser verificadas empíricamente (Sneath, 1983). Muchos filósofos, a excepción de los positivistas, han criticado duramente esta posición y han argumentado que la pretensión de una objetividad pura y sin interferencia de teorías es ilusoria (Ruse, 1988). Precisamente tal intención de neutralidad respecto a teorías elimina el enfoque fenético como una buena filosofía científica de clasificación biológica, ya que el criterio popperiano de refutación de hipótesis hace referencia a una relación profunda entre teorías e interpretación de observaciones (Popper, 1959; Ruse, 1979; Settle, 1979).

La posición ontológica de la orientación cladística y gradista es robusta y en principio satisface los requerimientos popperianos de “buena ciencia” (Kitts, 1977, 1980; Ruse, 1979, 1988; Settle, 1979, 1981). Bajo estos criterios, se ha interpretado que las hipótesis filogenéticas y de clasificación derivadas en estos dos enfoques son potencialmente refutables, es decir, las observaciones empíricas (distribución de caracteres) que rechazarían una inferencia son posibles y entonces tales conjeturas califican como “científicas” (Felsenstein y Sober, 1986; Patterson, 1978, 1982; Ruse, 1979; Sober, 1983b, 1988). Sin embargo, epistemológicamente existen diferencias entre ambos enfoques, especialmente si se enfatiza la importancia de la lógica de argumentación y la apertura a la refutación potencial de hipótesis.

La escuela evolucionista carece de una metodología crítica para la evaluación de hipótesis sobre caracteres y grupos mediante la aplicación del principio de “falsabilidad”. La mayoría de las veces, las inferencias se “inmunizan” al examen crítico. La protección se establece argumentando que tales conjeturas son válidas porque se basan en otros enunciados cuya validez ya se ha establecido *a priori*, o en otros presupuestos aceptados

convencionalmente (Gaffney, 1975; Wiley, 1975). En cambio, la taxonomía cladística es la que mejor ha incorporado los principios metodológicos del racionalismo crítico popperiano mediante la refutación de la hipótesis filogenética usada para establecer una clasificación. Tal proposición se pone a prueba mediante el examen de la distribución congruente de sinapomorfias. Consecuentemente, la filogenia que sobrevive a la prueba no es la mejor verificada, sino la menos refutada por la evidencia conflictiva de similitudes no homólogas. Esto significa que, entre varias especulaciones genealógicas, se prefiere la que requiere el menor número de proposiciones de homoplasia (Hull, 1983; Kitts, 1977; Platnick y Gaffney, 1978; Ruse, 1979; Wiley, 1975).

También se ha argüido que el enfoque evolucionista no es propiamente científico debido a los formatos, que con frecuencia no son explícitos, y a su "circularidad" lógica (Hull, 1967) en la argumentación de las hipótesis sobre caracteres, relaciones filogenéticas y grupos taxonómicos. Sin embargo, la forma en que se comunica una conjetura no puede ser factor para eliminarla como "pseudocientífica", así como tampoco lo es la estructura lógica del proceso mismo de la generación de inferencias. El principio popperiano de "refutabilidad" únicamente requiere que una hipótesis científica debe ser configurada de tal manera que presente pruebas implícitas; esto es, en función de una teoría, debe predecir algo que potencialmente se puede observar (Wiley, 1981). Tal principio no impone requerimientos de estructura lógica en la generación de proposiciones. De hecho, las hipótesis no se pueden aceptar como genuinamente científicas por el solo atributo de ser elegantemente lógicas. De este modo, las inferencias sobre caracteres y grupos taxonómicos que se aceptarían como científicas (potencialmente refutables) pueden generarse inductivamente o formularse con base tan sólo en la experiencia y buena intuición del investigador (Brooks, 1981; Donoghue, 1987; Harper y Platnick, 1978; Kitts, 1977; Nelson, 1978).

CONCLUSIONES

La elección y la justificación de enfoques en sistemática no debe depender de los límites o ventajas operacionales de un método, sino que debe ser la consecuencia de elegir una posición ontológica bien definida. Si el objetivo es hacer investigación taxonómica con un fundamento filosófico "esencialista" en el que los grupos taxonómicos se consideran como "clases" y una base "objetivista", donde únicamente las similitudes son conocimiento confiable porque pueden descubrirse y verificarse empíricamente, entonces se debe elegir o los procedimientos de la escuela gradista o los de la fenética. En cambio, si el objetivo es hacer investigación taxonómica con una ontología "evolutiva" (los grupos taxonómicos son como "individuos") y "realista" (la filogenia existe más allá de lo empírico pero puede reconstruirse y las inferencias pueden refutarse empíricamente) entonces se debe elegir la taxonomía cladista. La costumbre de ofrecer talleres sobre la mecánica de los métodos fenéticos y cladísticos y la amplia disponibilidad de programas para estos análisis (NTSYS, PAUP, PHYLIP, HENNIG86, etc.) brindan fácilmente la oportunidad de experimentar la parte operacional de estas escuelas de clasificación. En cambio, el investigador no está igualmente expuesto a la influencia de posiciones filosóficas asociadas a cada alternativa metodológica, ya que ésto no es fácil de asimilar, especialmente en las fases tempranas

de nuestra formación como taxónomos. La presente revisión ha sido un modesto intento de influir en la elección de procedimientos de análisis mediante la exposición de las discusiones de temas filosóficos de mayor relevancia en sistemática.

Al elegir los métodos de análisis, todo investigador debe considerar bajo cuál marco conceptual se desea operar al clasificar la biodiversidad. Debido a que no es posible señalar una ontología como la correcta, entonces, para elegir una posición filosófica particular uno debe preguntar por ejemplo: ¿Cómo se concibe a las unidades biológicas de comparación: como entidades históricas (“individuos”) o no-históricas (“clases”)? ¿Cómo clasificar la diversidad biológica y qué tipo de información puede usarse: similitud o inferencias sobre homología? ¿Qué papel tiene la evidencia en relación a la filogenia como una hipótesis: verifica o refuta? Estos cuestionamientos son ineludibles, así como lo es tener una posición ontológica particular. Aun si se considera que se puede hacer taxonomía (evolutiva, fenética o cladista) sin abordar estos aspectos conceptuales, o si se estima que tales aspectos discutidos aquí no deberían influir en la selección de una metodología sistemática, aún esta negación implica también una posición conceptual que debe ser justificada. Tampoco puede evitarse asociar una filosofía particular con la estrategia de combinar solo los aspectos meritorios de cada escuela en un enfoque ecléctico. Las ontologías alternativas implicadas en la negación y en el eclecticismo son débiles o ambiguas y no son recomendables para el ejercicio de la sistemática como ciencia. En consecuencia, sería más conveniente seleccionar de manera consciente una posición teórica correspondiente a uno de los tres enfoques, evolucionista, fenético, o cladístico, que elegir inadvertidamente la negación conceptual o el eclecticismo metodológico.

Las ontologías más robustas para la investigación taxonómica son las asociadas a los enfoques evolucionista y cladístico. La filosofía del método fenético es débil y no es recomendable según se desprende de la presente discusión de la naturaleza de los grupos naturales, las bases para la clasificación y la prueba de hipótesis. Es posible que en relación con otros aspectos conceptuales no examinados aquí, la ontología del enfoque fenético pudiera rescatarse como robusta. Tal argumentación es un trabajo que queda como un reto para los filósofos o taxónomos que prefieren la escuela fenética. Mientras tanto, aunque existe controversia si la concepción de grupos naturales como “clases” es robusta o no, muchos autores han indicado que la posición “positivista” y “neutral” respecto a teorías implícita en el estudio de las similitudes totales y en la verificación empírica de hipótesis elimina a esta escuela como una alternativa de investigación taxonómica. Básicamente la prescripción filosófica de la taxonomía fenética puede resumirse así: “si es difícil, no lo intente”. Es cierto que la reconstrucción de la historia filogenética es difícil y que la buena intuición no basta, pero esto no es justificación para no intentar la inferencia de esos eventos históricos como base para la clasificación. Una opción para elaborar ese tipo de conjeturas es la escuela evolucionista, pero los problemas derivados de un sistema no abierto al examen y refutación de hipótesis filogenéticas inutiliza esta alternativa. Desde el punto de vista de los tres aspectos filosóficos examinados aquí, la única elección recomendable para el estudio de caracteres homólogos y grupos monofiléticos son los métodos cladísticos.

La posición conceptual del autor en relación con las tres preguntas básicas planteadas anteriormente es que ontológicamente las unidades biológicas de comparación son “individuos”, por lo que epistemológicamente los grupos taxonómicos han de reconocerse por su historia común. La reconstrucción de las relaciones filogenéticas es

factible y debe ser la base para la clasificación, la cual tiene que presentarse asociada a un sistema de hipótesis sobre la homología de caracteres y grupos genealógicos. Estas conjeturas necesitan ser potencialmente refutables con observaciones sobre la distribución jerárquica de caracteres adicionales. Tal evaluación debe ser crítica y esto es posible mediante el principio de parsimonia inferencial para cuestionar el valor corroborativo de las observaciones (Beatty y Fink, 1979; Farris, 1983; Kluge, 1984; Sober, 1983b). Consecuente con esta posición, el autor en su programa de investigación ha elegido precisamente los procedimientos cladísticos, ya que estos permiten interpretar parsimoniosamente las homologías especiales (sinapomorfias) como evidencia para reconocer grupos monofiléticos y reconstruir las relaciones filogenéticas. Un punto a aclarar es que el autor no siguió la directriz que aquí mismo se está sugiriendo: "elige una posición ontológica y consecuentemente, selecciona un método". La elección más bien estuvo influenciada por la interacción con otros taxónomos. A menudo la experiencia del director de tesis o la tradición de un grupo de trabajo es decisiva en la búsqueda de un método. La presión sociológica seguirá siendo un factor importante y difícil de reconocer y evitar (Hull, 1988). Pero aun así, es obvio que todavía existe la necesidad de justificar tal preferencia inicial o de ser necesario, corregir el rumbo.

Gracias al desarrollo de la filosofía y métodos cladísticos, la sistemática ha ganado credibilidad como ciencia. La posición ontológica del enfoque cladístico que considera los taxa como "individuos", en conjunción con la filosofía popperiana de refutación y el examen riguroso de inferencias mediante el principio de parsimonia (no parsimonia como algoritmo para el cálculo de redes de longitud mínima, Farris, 1983) proveen una metodología científica para la investigación taxonómica basada en la teoría evolutiva (Vrba y Eldredge, 1984). Por un lado, la actitud extremadamente cautelosa y agnóstica del enfoque fenético y por otro lado, la actitud convencionalista y sin apertura al examen de inferencias en la escuela evolucionista habían impedido el progreso de la taxonomía como una disciplina científica crítica (Hull, 1965). Consecuente con estas dos posiciones, la investigación en sistemática parece haber sido guiada por la noción de que la credibilidad y robustez de la parte analítica dependía principalmente de la acumulación de datos, del tipo de caracteres y de la habilidad del investigador para interpretar el valor probatorio de los caracteres. Si la elaboración de floras y monografías no se percibía como "ciencia", entonces, la única actividad del taxónomo considerada como científica había sido el uso de nuevos métodos para la acumulación de datos, por ejemplo, técnicas para determinación de isoenzimas y recientemente, para la secuenciación de ácidos nucleicos. Sin embargo, la verdadera credibilidad como ciencia ha sido ganada debido a los avances en el área analítica de la sistemática propiciados por el uso cada vez más amplio de procedimientos cladísticos. Estos métodos se están aplicando para el análisis de cualquier tipo de datos (morfología, anatomía, secuencias de ácidos nucleicos) en la clasificación de un número cada vez más diverso de organismos.

Finalmente se debe destacar que para el desarrollo sólido de la sistemática hacia el futuro será necesario incorporar en nuestros estudios taxonómicos tanto los nuevos tipos de datos como los nuevos métodos de análisis. Es decir, las investigaciones no pueden calificarse como modernas únicamente porque se basan en técnicas recientes para la obtención de observaciones (secuencias de ácidos nucleicos, etc.). La posición del autor es que *a priori*, todos los tipos de caracteres son igualmente valiosos por lo menos en algún

nivel taxonómico. El punto a resaltar es que la sistemática actual no sólo debe consistir en recaudar información mediante tecnología de punta, sino que es especialmente importante que se examine el tipo de análisis al que se someten los datos. Los trabajos monográficos y la elaboración de floras son definitivamente importantes y deberán continuarse y promoverse. Sin embargo, como parte de estos estudios taxonómicos deberán estimularse con igual apoyo económico, por un lado, la incorporación de caracteres distintos a los morfológicos, y por otro lado, la aplicación de métodos cladísticos. En este aspecto analítico, existen muy pocas contribuciones metodológicas en la literatura sistemática hispanoamericana (Crisci y López, 1983; Llorente, 1989; Schrochi y Domínguez, 1992; Villaseñor y Dávila, 1992) que han sugerido la interpretación de datos taxonómicos con un enfoque filogenético. Los estudios basados en el análisis cladístico de datos morfológicos o moleculares y las discusiones metodológicas y filosóficas deben estimularse en igual grado para un desarrollo equilibrado de la sistemática moderna en Hispanoamérica.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dolores González, Teresa Mejía, Nisao Ogata y Victoria Sosa (Sistemática Vegetal, Instituto de Ecología) por sus sugerencias iniciales a una versión ancestral de esta revisión. También agradezco a dos revisores anónimos sus incisivas críticas al manuscrito en su primera fase de revisión. Especialmente, agradezco los comentarios y puntos de vista de Alfredo Bueno del Museo de Zoología y David Espinosa del Herbario (ambos de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México), Jorge Llorente del Museo de Zoología (Facultad de Ciencias, UNAM, México), así como de Nelson Papavero del Instituto de Estudios Avanzados y Dalton De Souza de la Facultad de Ciencias y Letras Riberão Preto (ambos de la Universidad de Sao Paulo, Brasil). Sus aclaraciones conceptuales y sugerencias fueron de gran utilidad para mejorar este manuscrito. Sin embargo, esto no significa que los revisores comparten todos los puntos de vista expresados aquí. En la penúltima fase, agradezco al Comité Editorial los cambios sugeridos en la redacción y el uso de términos. Finalmente, un revisor anónimo ayudó a subsanar mis persistentes problemas de cacofonías. El apoyo económico otorgado por el Instituto de Ecología, A.C. con cuenta 902-14 permitió la elaboración de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Andión G., M., W. Beller y H. Dietrich. 1990. Guía de investigación científica. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco y Ediciones de Cultura Popular. México, D.F. 108 pp.
- Angeles, P. A. 1981. Dictionary of philosophy. Barnes & Noble. Nueva York. 326 pp.
- Ashlock, P. D. 1979. An evolutionary systematist's view of classification. *Systematic Zoology* 28: 441-450.
- Baudouin, J. 1991. Karl Popper. Colección: ¿Qué sé? La orientación del pensamiento de la modernidad. Publicaciones Cruz, S.A. México, D.F. 112 pp.
- Beatty, J. y W. L. Fink. 1979. Review of "Simplicity" by Elliot Sober. *Systematic Zoology* 28: 643-651.
- Bisby, F. A., J. G. Vaughn y C. A. Wright (eds.). 1980. *Chemosystematics: principles and practices*. Academic Press. Nueva York. 320 pp.

- Bock, W. J. 1974. Philosophical foundations of classical evolutionary classification. *Systematic Zoology* 22: 375-392.
- Bock, W. J. 1977. Foundations and methods of evolutionary classification. In: Hecht, M. K., P. C. Goody y B. M. Hecht (eds.). *Major patterns in vertebrate evolution*. Plenum. Nueva York. pp. 851-895.
- Bock, W. J. 1978. Comments on classifications as historical narratives. *Systematic Zoology* 27: 362-364.
- Brandon, R. R. 1978. Adaptation and evolutionary theory. *Studies in the history and the philosophy of science* 9: 181-206.
- Bremer, K. 1987. Tribal interrelationships of the Asteraceae. *Cladistics* 3: 210-253.
- Brooks, D. R. 1981. Classification as languages of empirical comparative biology. In: Funk, V. A. y D. R. Brooks (eds.). *Advances in cladistics*. New York Botanical Garden. Nueva York. pp. 61-70.
- Brooks, D. R. y D. McLennan. 1991. *Phylogeny, ecology, and behavior*. University of Chicago Press. Chicago. 434 pp.
- Bunge, M. 1969. *La investigación científica*. Ediciones Ariel. Barcelona. 175 pp.
- Bunge, M. 1989. *La ciencia, su método y su filosofía*. Siglo Veinte, Nueva Imagen. México, D.F. 99 pp.
- Carpenter, J. M. 1989. Testing scenarios: wasp social behavior. *Cladistics* 5: 131-144.
- Coddington, J. A. 1988. Cladistic tests of adaptational hypothesis. *Cladistics* 4: 3-22.
- Colless, D. H. 1971. The phenogram as an estimate of phylogeny. *Systematic Zoology* 19: 352-362.
- Cracraft, J. 1974. Phylogenetic models and classification. *Systematic Zoology* 23: 71-90.
- Cracraft, J. 1983. The significance of phylogenetic classifications for systematic and evolutionary biology. In: Felsenstein, J. (ed.). *Numerical taxonomy*. Springer-Verlag. Berlin. pp. 1-17.
- Crisci, J. V. y M. F. López. 1983. *Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D.C. 132 pp.
- Davis, P. H. y V. H. Heywood. 1965. *Principles of angiosperm taxonomy*. P. Van Nostrand Co. Inc. Princeton.
- Donoghue, M. J. 1983. A preliminary analysis of phylogenetic relationships in *Viburnum* (Caprifoliaceae s.l.). *Systematic Botany* 8: 45-58.
- Donoghue, M. J. 1987. Experiments and hypothesis in systematics. *Taxon* 36: 584-587.
- Duncan, T. y B. R. Baum. 1981. Numerical phenetics: its uses in botanical systematics. *Annual Review of Ecology and Systematics* 12: 387-404.
- Dunn, G. y B. S. Everitt. 1982. *An introduction to mathematical taxonomy*. Cambridge University Press. Cambridge. 152 pp.
- Dutta, S. K. 1986. *DNA systematics*. CRC Press. Boca Raton. 165 pp.
- Eldredge, N. y J. Cracraft. 1980. *Phylogenetic patterns and the evolutionary process*. Columbia Univ. Press. Nueva York. 349 pp.
- Estabrook, G. F. 1972. Cladistic methodology: a discussion of the theoretical basis for the induction of evolutionary history. *Annual Review of Ecology and Systematics* 3: 427-456.
- Farris, J. S. 1979. On the naturalness of phylogenetic classification. *Systematic Zoology* 28: 200-214.
- Farris, J. S. 1983. The logical basis of phylogenetic analysis. In: Platnick, N. I. y V. A. Funk (eds.). *Advances in cladistics*. Columbia University Press. Nueva York. pp. 7-36.
- Felsenstein, J. 1979. Alternative methods of phylogenetic inference and their interrelationships. *Systematic Zoology* 28: 49-61 .
- Felsenstein, J. 1982. Numerical methods for inferring evolutionary trees. *Quarterly Review of Biology* 57: 127-141.
- Felsenstein, J. 1983. Methods for inferring phylogenies: a statistical view. In: Felsenstein, J. (ed.). *Numerical taxonomy*. Springer-Verlag. Berlin. pp. 315-334.
- Felsenstein, J. 1985. Phylogenies and the comparative method. *American Naturalist* 125: 1-15.
- Felsenstein, J. y E. Sober. 1986. Parsimony and likelihood: an exchange. *Systematic Zoology* 35: 617-626.

- Ferguson, A. 1980. Biochemical systematics and evolution. J. Wiley & Sons. Nueva York. 220 pp.
- Futuyma, D. J. 1986. Evolutionary biology. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts. 600 pp.
- Gaffney, E. S. 1975. A phylogeny and classification of the higher categories of turtles. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 155: 391-436.
- Ghiselin, M. T. 1966. An application of the theory of definitions to taxonomic principles. *Systematic Zoology* 15: 127-130.
- Ghiselin, M. T. 1969. The distinction between similarity and homology. *Systematic Zoology* 18: 148-149.
- Ghiselin, M. T. 1980. Natural kinds and literary accomplishments. *The Michigan Quarterly Review* 19(1): 73-88.
- Ghiselin, M. T. 1981. Categories, life and thinking. *Behaviour and Brain Science* 4: 269-313.
- Gingerich, P. D. 1979. Paleontology, phylogeny, and classification: an example from the mammalian fossil record. *Systematic Zoology* 28: 451-464.
- Gould, S. J. 1980. The promise of paleobiology as a nomothetic, evolutionary discipline. *Paleobiology* 6: 96-118.
- Grant, V. 1981. Plant speciation. Columbia University Press. Nueva York. 322 pp.
- Grant, W. F. (ed.). 1984. Plant biosystematics. Academic Press. Londres. 571 pp.
- Griffiths, G. C. D. 1974. On the foundations of biological systematics. *Acta Biotheoretica* 23: 85-131.
- Harper, C. W. J. y N. I. Platnick. 1978. Phylogenetic and cladistic hypothesis: a debate. *Systematic Zoology* 27: 354-362.
- Harvey, P. H. y M. D. Pagel. 1991. The comparative method in evolutionary biology. Oxford University Press. Oxford. 239 pp.
- Hennig, W. 1966. Phylogenetic systematics. University of Illinois Press. Urbana. 261 pp.
- Hull, D. L. 1965. The effect of essentialism on taxonomy - two thousand years of stasis. *British Journal of Philosophy of Science* 15: 314-326.
- Hull, D. L. 1967. Certainty and circularity in evolutionary taxonomy. *Evolution* 21: 174-189.
- Hull, D. L. 1976. Are species really individuals? *Systematic Zoology* 25: 174-191.
- Hull, D. L. 1978. A matter of individuality. *Philosophy of Science* 45: 335-360.
- Hull, D. L. 1979. The limits of cladism. *Systematic Zoology* 28: 416-440.
- Hull, D. L. 1981. The principles of biological classification: The use and abuse of philosophy. *Philosophy of Science Association* 1978 (2): 130-153.
- Hull, D. L. 1983. Karl Popper and Plato's metaphor. In: Platnick, N. I. y V. A. Funk (eds.). *Advances in cladistics*. Columbia University Press. Nueva York. pp. 177-189.
- Hull, D. L. 1984. Cladistic theory: hypothesis that blur and grow. In: Duncan, T. y T. F. Stuessy (eds.). *Cladistics: perspectives on the reconstruction of evolutionary history*. Columbia University Press. Nueva York. pp. 5-23.
- Hull, D. L. 1988. Science as a process. An evolutionary account of the social and conceptual development of science. University of Chicago Press. Chicago. 586 pp.
- Humphries, C. J. y J. A. Chappill. 1988. Systematics as science: a response to Cronquist. *Botanical Review* 54: 129-144.
- Humphries, C. J. y A. F. Funk. 1984. Cladistic methodology. In: Heywood, V. H. y D. M. Moore (eds.). *Current concepts in plant taxonomy*. Academic Press. Londres. pp. 323-362.
- Kellogg, E. A. y C. S. Campbell. 1987. Phylogenetic analysis of the Gramineae. In: Soderstrom, T. R., K. W. Hilu, C. S. Campbell y M. E. Barkworth (eds.). *Grass systematics and evolution*. Smithsonian Inst. Press. Washington, DC. pp. 310-322.
- Kitts, D. B. 1977. Karl Popper, verifiability, and systematic zoology. *Systematic Zoology* 26: 185-194.
- Kitts, D. B. 1980. Theories and other scientific statements: a reply to Settle. *Systematic Zoology* 29: 190-192.
- Kitts, D. B. 1987. Plato on kinds of animals. *Biology and Philosophy* 2: 315-328.

- Kluge, A. G. 1984. The relevance of parsimony to phylogenetic inference. In: Duncan, T. y T. F. Stuessy (eds.). *Cladistics: perspectives on the reconstruction of evolutionary history*. Columbia University Press. Nueva York. pp. 24-38.
- Kuhn, T. S. 1962. *The structure of scientific revolutions*. Chicago University Press. Chicago. 319 pp.
- Llorente, J. 1989. Algunas ideas de la teoría sistemática contemporánea: conceptos del cladismo. *Ciencias*, número especial 3: 74-87.
- Mayr, E. 1969. *Principles of systematic zoology*. McGraw-Hill. Nueva York. 457 pp.
- Mayr, E. 1976. Is the species a class or an individual? *Systematic Zoology* 25: 192.
- Mayr, E. 1981. Biological classification: toward a synthesis of opposing methodologies. *Science* 214: 510-516.
- Mayr, E. 1982. *The growth of biological thought*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. 974 pp.
- Mayr, E. 1988. A response to David Kitts. *Biology and Philosophy* 2: 97-98.
- McNeill, J. 1979. Purposeful phenetics. *Systematic Zoology* 28: 465-482.
- Michener, C. D. 1978. Dr. Nelson on taxonomic methods. *Systematic Zoology* 27: 112-118.
- Nelson, G. 1970. Outline of a theory of comparative biology. *Systematic Zoology* 19: 373-384.
- Nelson, G. 1978. Classification and prediction: a reply to Kitts. *Systematic Zoology* 27: 216-218.
- Patterson, C. 1978. Verifiability in systematics. *Systematic Zoology* 27: 218-222.
- Patterson, C. 1982. Classes and cladists or individuals and evolution. *Systematic Zoology* 31: 284-286.
- Patterson, C. (ed.). 1987. *Molecules and morphology in evolution: Conflict or compromise*. Cambridge University Press. Cambridge. 229 pp.
- Platnick, N. I. 1977. Cladograms, phylogenetic trees, and hypothesis testing. *Systematic Zoology* 26: 438-442.
- Platnick, N. I. y E. S. Gaffney. 1978. Systematics and the popperian paradigm. *Systematic Zoology* 27: 381-388.
- Platt, J. R. 1964. Strong inference. *Science* 146: 347-353.
- Popper, K. R. 1959. *The logic of scientific discovery*. Harper & Row. Nueva York. 451 pp.
- Popper, K. R. 1963. *Conjectures and refutations: The growth of scientific knowledge*. Harper & Row. Nueva York. 513 pp.
- Reichenbach, H. 1945. *Objetivos y métodos del conocimiento físico*. El Colegio de México, México, D.F. 91 pp.
- Reichenbach, H. 1953. *La filosofía de la ciencia*. Fondo de Cultura Económica, México, D.F. 123 pp.
- Rieppel, O. 1986. Species are individuals. A review and critique of the argument. *Evolutionary Biology* 20: 283-317.
- Ruse, M. 1979. Falsifiability, consilience, and systematics. *Systematic Zoology* 28: 530-536.
- Ruse, M. 1988. *Philosophy of biology today*. State University of New York Press. Nueva York. 155 pp.
- Schrochi, G. J. y E. Domínguez. 1992. *Introducción a las escuelas de sistemática y biogeografía*. Presidencia de la Nación, Secretaría de Ciencia y Técnica, Tucumán.
- Serrano, J. A. 1990. *Filosofía de la ciencia*. Editorial Trillas, México, D.F. 297 pp.
- Settle, T. 1979. Popper on "when is a science not a science". *Systematic Zoology* 28: 521-529.
- Settle, T. 1981. Kitts on Popper: a reply. *Systematic Zoology* 30: 200-202.
- Simpson, G. G. 1961. *Principles of animal taxonomy*. Columbia University Press. Nueva York. 520 pp.
- Sneath, P. H. A. 1983. Philosophy and method in biological classification. In: Felsenstein, J. (ed.). *Numerical taxonomy*. Springer-Verlag. Berlin. pp. 22-37.
- Sneath, P. H. A. y R. R. Sokal. 1973. *Numerical taxonomy, the principles and practice of numerical classification*. W. H. Freeman & Co. San Francisco. 573 pp.
- Sober, E. R. 1983 a. Parsimony methods in systematics. In: Platnick, N. I. y V. A. Funk (eds.). *Advances in cladistics*. Columbia University Press. Nueva York. pp. 37-47.
- Sober, E. R. 1983 b. Parsimony in systematics: philosophical issues. *Annual Review of Ecology and Systematics* 14: 335-357.

- Sober, E. R. 1984. Common cause explanation. *Philosophy of Science* 51: 212-233.
- Sober, E. R. 1988. Reconstructing the past. Parsimony, evolution and inference. The Massachusetts Institute of Technology Press. Cambridge, Massachusetts. 265 pp.
- Sokal, R. R. 1986. Phenetic taxonomy: Theory and methods. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 423-442.
- Soltis, P. S., D. E. Soltis y J. J. Doyle (eds.). 1992. *Molecular systematics of plants*. Chapman & Hall. Nueva York. 434 pp.
- Stace, C. A. 1989. *Plant taxonomy and biosystematics*. Edward Arnold. Londres. 264 pp.
- Stuessy, T. F. 1987. Explicit approaches for evolutionary classification. *Systematic Botany* 12: 251-262.
- Stuessy, T. F. 1990. *Plant Taxonomy. The systematic evaluation of comparative data*. Columbia University Press. Nueva York. 514 pp.
- Villaseñor, J. L. y P. Dávila. 1992. Breve introducción a la metodología cladística. *Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México*. México, D.F. 48 pp.
- Vrba, E. S. y N. Eldredge. 1984. Individuals, hierarchies and processes: towards a more complete evolutionary theory. *Paleobiology* 10: 146-171.
- Wanntorp, H. E., D. R. Brooks, T. Nilsson, S. Nylin, F. Ronquist, S. C. Stearns y N. Wedell. 1990. Phylogenetic approaches in ecology. *Oikos* 57: 119-132.
- Wiley, E. O. 1975. Karl Popper, systematics, and classification: a reply to Walter Bock and other evolutionary taxonomists. *Systematic Zoology* 24: 233-243.
- Wiley, E. O. 1981. *Phylogenetics. The theory and practice of phylogenetic systematics*. John Wiley & Sons. Nueva York. 439 pp.
- Wiley, E. O., D. Siegel-Causey, D. R. Brooks y V. A. Funk. 1991. *The complete cladist. A primer of phylogenetic procedures*. The University of Kansas. Lawrence. 158 pp.