

**La diversidad taxonómica,  
filogenética y funcional:  
un acercamiento al caso  
de “El Arca de Noé”**

***Taxonomic, phylogenetic  
and functional diversity.  
An approach to the case  
of “Noah’s Ark”***



**M. C. Alexis Arriaga Ramírez**  
*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*

**Resumen:**

Utilizando el evento bíblico de “El Arca de Noé” se hacen una serie de planteamientos enfocados en introducir al lector en diferentes conceptos utilizados en la actualidad en ecología de comunidades. También se introduce al lector una serie de planteamientos relacionados con la aplicación de estos temas en la conservación de la biodiversidad.

**Palabras clave:**

*Rasgos funcionales, árboles filogenéticos, conservación, Arca de Noé*

**Abstract:**

Using the biblical event of “Noah’s Ark”, a set of proposals are made focused on introducing the reader to different concepts currently used in community ecology. The reader is also introduced to the application of these issues in conservation of species issues.

**Key words:**

*Functional traits, phylogenetic trees, conservation, Noah’s Ark*

El Arca de Noé es uno de los relatos más populares de la Biblia, en el que se narra cómo, por orden de Dios (Yahvé o Jehová), el patriarca Noé decidió construir una embarcación para la salvación de aquellos que creyeran en la “promesa del diluvio universal”. No obstante, la narración del evento expone que solo fue Noé, su familia y siete parejas de cada animal “puro” (kosher, del hebreo ‘apto’ o ‘adecuado’) y una pareja de cada animal “no puro” (no kosher) quienes abordaron el arca. Todos ellos, preservados del diluvio universal, podrían repoblar la Tierra con su descendencia.

La Real Academia Española (RAE), ha definido el concepto de “biodiversidad” como la “variedad de especies animales y vegeta-

les en su medio ambiente”. Sin embargo, el concepto de biodiversidad tiene su origen en el año de 1980. Lovejoy, quien realizaba un estudio para el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés), escribió en su reporte acerca de la diversidad biótica o biológica, y a pesar de que no dio una definición puntual de la misma, utilizó este concepto para referirse al número de especies presentes en un sitio (Núñez et al., 2003). Actualmente, el concepto de biodiversidad se ha utilizado ampliamente para hacer referencia a la variedad de la vida en todos los niveles de organización, clasificada tanto por criterios evolutivos (filogenéticos), como ecológicos (funcionales).

Históricamente, los esquemas de conservación en el mundo han tenido como meta la preservación del mayor número de especies en un área determinada, priorizando de esta manera a la diversidad de especies sobre otros componentes de la biodiversidad. En la actualidad, se presenta un interesante auge por tomar en cuenta otras dimensiones, como la funcional o la filogenética, o una combinación de estas. Dichos componentes de la biodiversidad se relacionan con la productividad primaria de los ecosistemas, el ciclaje de nutrientes y la resiliencia de las comunidades naturales a la invasión por especies exóticas, entre otros procesos. Además, estos componentes tienen implicaciones para diseñar acciones de conservación y manejo de recursos naturales, así como para seleccionar especies para la restauración ecológica de sitios perturbados.

En ese sentido, y tomando como modelo de estudio el acercamiento que tuvo Noé a la hora de seleccionar especies para contener la mayor biodiversidad posible en su arca (sensu lato Perry, 2010), surge el siguiente cuestionamiento: ¿cómo hubiese hecho Noé



Figura 1. Representación de la diversidad biológica de diferentes grupos de organismos.

para llevar en su arca la mayor cantidad de diversidad taxonómica, funcional y filogenética? Bueno, pues tratemos de darle claridad a cada enfoque en las siguientes secciones.

### 1) De diversidades taxonómicas...

La diversidad taxonómica, ha sido definida por los científicos como la media y la varianza del número de especies por género, y de especies por familia (Neeson et al., 2013). Es decir, la diversidad taxonómica representa el número y la variedad de formas de seres vivos que habitan en un área geográfica determinada (ver figura 1).

La “diversidad” en biología, ha sido uno de los términos mayormente utilizados para hacer referencia a otro concepto importante, la “complejidad ecológica” presente en la estructura de una comunidad. Es decir, la presencia de diferencias entre los elementos que componen una colección de especies. Para medir la biodiversidad, se han utilizado una serie de índices que, en general, tratan de describir de manera matemática (y relativamente sencilla)

la complejidad ecológica que presenta un conjunto de especies. Entre los índices más populares utilizados por los ecólogos para medir la diversidad podemos encontrar: el Índice Shannon, el exponencial del índice de Shannon, el índice de Ginni-Simpson, el inverso del índice de Ginni-Simpson, la riqueza de especies, entre otros.

Sin embargo, dichas medidas no proporcionan información acerca de las relaciones a nivel evolutivo y con el medio ambiente que presentan las comunidades de organismos. En la taxonomía encontramos un marco normativo que nos permite identificar, cuantificar y evaluar el estado de la biodiversidad de una comunidad. Esto, a su vez, nos permite establecer prioridades de conservación, y, por lo tanto, se constituye como una piedra angular en la conservación de la biodiversidad.

En Levítico 11 y Deuteronomio 14, se describen una serie de mandatos taxonómicos supuestamente propuestos por Dios, el cual postula la existencia de animales “puros”

y “no puros”. En síntesis, los animales terrestres puros eran considerados aquellos rumiantes que tuvieran pezuña hendida (dividida), por lo que algunos ejemplos de animales puros se encontraban representados en la res, el antílope, la cabra, el venado; mientras que ejemplos de animales terrestres no puros podrían ser los conejos y los cerdos. Dentro de los animales acuáticos puros se consideraban aquellos que tenían aletas y escamas, por lo que ejemplos de animales acuáticos puros, dentro de esta construcción teocentrista (Dios como el centro del universo), serían los pargos, los róbalo, el bacalao, el salmón; mientras que ejemplos de animales acuáticos no puros podrían ser la langosta, el cangrejo y el camarón.

Esta diferenciación taxonómica inverosímil entre animales “puros” y “no puros”, según el relato bíblico, era bien conocida por Noé antes de que tuviera lugar el diluvio universal, el cual fue el criterio de selección con el que éste resguardó a las especies por mandato divino, ¿Cuántos seres vivos puros e impuros transportaría la supuesta arca? es en realidad un misterio. En ese sentido, uno de los debates creacionistas más destacados ha sido utilizar el concepto de “baramin” o “tipos” en lugar de especies. Un “baramin” (del hebreo bara: creado, min: tipo), según los creacionistas, es una unidad de vida originalmente creada por Dios, el problema fundamental que engloba este concepto es que dentro de cada “tipo” hay un potencial muy grande de variación (Moore, 1983). Este concepto conduce a una diferenciación muy abstracta entre las unidades bióticas que podrían abordar la supuesta arca, haciendo que se presenten estimaciones numéricas muy dispares entre creacionistas con respecto al número de “tipos” que podrían existir, que van desde los 1,544 hasta 50,000 tipos que se presume iban a bordo de la misma (Moore, 1983).

Actualmente sabemos que se han descrito taxonómicamente alrededor de 1.2 millones de especies eucariotas, y se predice la existencia de unas 8.7 millones en el planeta (Mora et al., 2011). Esto obviamente representa un problema mayúsculo en el mito de Noé, ya que se presume que el arca tenía una extensión limitada de 155 metros de largo por 26 de ancho y 25 m de alto, lo cual equivale aproximadamente al largo de un campo de fútbol y la altura de la gran esfinje de Giza. Una embarcación de estas dimensiones podría tener aproximadamente un volumen de 40,000 metros cúbicos (m<sup>3</sup>), la cual de ninguna manera podría albergar a 9 millones de especies, ni la combinación de siete parejas de organismos puros, por una pareja de no puros.

Solo para poner un poco de contexto, tomando las 1.2 millones de especies descritas taxonómicamente actualmente, considerando que la mitad fuesen “puras” (8,400,000 individuos), y la otra mitad fuesen “no puras” (1,200,000 individuos), nos da un total de 9,600,000 individuos, eso dividido entre los 40,000 m<sup>3</sup> que es el volumen del arca, da como resultado un espacio de 0.0041 m<sup>3</sup> para cada individuo (ignorando el hecho de que Noé debía destinar un espacio en la embarcación para un año de víveres con los que alimentaría a todos los pasajeros del arca). El volumen que ocupa una caja para transportar una cebra promedio es de aproximadamente 2.2 m<sup>3</sup>, el de una jirafa promedio es de 2.8 m<sup>3</sup>, el de un hipopotamo de 6.0 m<sup>3</sup> (Moore, 1983). Bajo este contexto, el arca que diseñó Noé en aproximadamente 100 años, debería tener dimensiones mucho más amplias para albergar a quizás millones de individuos, tal vez el arca debería tener el tamaño de algunos países pequeños como San Marino o Tuvalu.

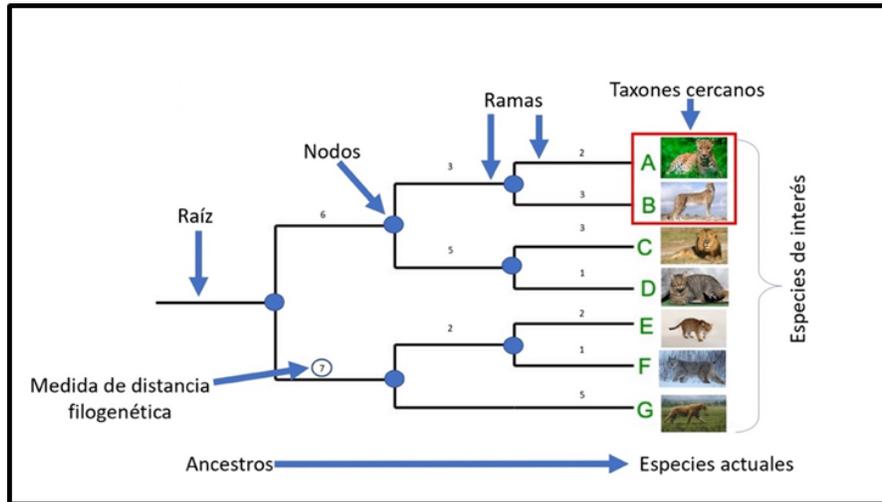


Figura 2. Ejemplo de un árbol filogenético y sus componentes principales para el caso de los felinos.

## 2) De diversidades filogenéticas...

A diferencia de la diversidad taxonómica, que nos permite conocer la variedad y el número de especies presentes en un sitio, la diversidad filogenética tiene como objetivo principal medir la biodiversidad tomando en cuenta el factor evolutivo, es decir, la diversidad de características que las especies han adquirido en términos de su historia evolutiva (Rivera, 2020).

Usualmente, los científicos determinan la diversidad filogenética mediante el uso de árboles filogenéticos, que son representaciones gráficas (parecidas a un tipo de cuadro sinóptico) en el que se muestran las relaciones de parentesco entre una agrupación de especies y/o taxones (ver figura 2). Un árbol filogenético es una hipótesis científica sobre las relaciones evolutivas de un conjunto de especies, no es un hecho definitivo. En ese sentido, la métrica de diversidad filogenética (PD) de Faith (1992, p. 4), la cual, es quizás la más utilizada actualmente; se calcula mediante la suma de las longitudes de las ramas del camino mínimo que une un conjunto de taxones en un árbol filogenético (ver figura 2). Es decir, esta métrica

mide la historia evolutiva compartida entre taxones que son parte de una muestra.

En los últimos 30 años, la biología de la conservación ha ampliado la calidad de sus horizontes de información para poder tomar decisiones puntuales, motivada principalmente por la grave crisis global de extinción de especies provocada por el hombre. Ante este escenario, la diversidad filogenética se ha presentado como una nueva herramienta para la conservación, que considera la evolución y la acumulación de características adquiridas a través del tiempo. Una de las principales ideas para usar a la diversidad filogenética como un criterio para la conservación de la biodiversidad, surge detrás de reconocer su valor intrínseco, en donde, al salvaguardar este componente se garantiza la protección de millones de años de evolución (Rivera, 2020). Además, se le ha relacionado con diversos procesos como la productividad de los ecosistemas y la resistencia de las comunidades a la invasión por especies exóticas, los cuales resultan criterios relevantes para llevar a cabo objetivos de conservación precisos.

Volviendo al punto de los baramines o “tipos”, como señala Moore (1983, p. 7), existen problemas genéticos puntuales detrás de esta clasificación con la cual Noé conformó su arca. Tomando el ejemplo de los caninos, en donde los creacionistas han puesto a lobos, perros, coyotes, dingos, fennecs, etc; se necesitarían conjuntos de cromosomas gigantes con una cantidad bestial de alelos (cada una de las formas en que puede manifestarse de un gen) que albergaran la inmensa variedad de rasgos como el tipo de pelaje, el color de los ojos, la forma de la cabeza, y/o el tamaño de la dentadura, que pudiesen manifestar las diferentes especies que se encontraban englobadas en una población de solo siete parejas de animales puros y una pareja de no puros, lo cual resulta prácticamente inviable.

En los milenios posteriores al diluvio, los animales que bajaron del arca debieron repoblar la tierra diversificando su descendencia en todas las especies de las comunidades naturales que conocemos hoy en día. Esto, como señala Moore (1983, p. 7) tiene como trasfondo, un dilema genético circunstancial a la hora de elegir a los individuos de cada “baramin”, es decir, ¿Qué individuos elegiría Noé del baramin canino para englobar la inmensa diversidad filogenética contenida en los caninos? ¿Un coyote macho y una hembra de lobo siberiano?, o en el caso del baramin felino, ¿un macho león y una hembra de gato doméstico? ¿Cómo podría Noé saber todo esto?

Las parejas de animales no puros (solo hembra y macho por baramin) debían contener toda la información genética de su grupo en solo dos individuos. Esto, obviamente, lleva consigo problemas filogenéticos y genéticos importantes como el entrecruzamiento consanguíneo entre los descendientes, la deriva genética (cambios en la frecuencia

de aparición de las variedades que puede tener un mismo gen), mutaciones deletéreas (alteraciones genéticas que aumentan la probabilidad de padecer ciertas afecciones), y problemas de cuello de botella (reducción de la variabilidad genética debido a un tamaño poblacional reducido).

En fin, en la actualidad el uso de la diversidad filogenética en la toma de decisiones relacionadas con la conservación aún sigue siendo un tema a discutir. Esto en gran medida, de la biodiversidad que hasta hace un par de décadas eran completamente ignorados. Seguro que este tipo de herramientas le hubiese sido de gran utilidad a Noé para conformar un arca con miras a preservar no solo un gran número de especies, sino también una serie de procesos evolutivos asociados a las mismas. Los científicos siguen trabajando para desarrollar mejores metodologías enfocadas en resolver las diferentes problemáticas que tiene el mundo actual, como es el caso de las grandes extinciones de especies.

En el futuro cercano, como señala Rivera (2020, p. 274), es casi seguro que seguirán surgiendo nuevas incógnitas a las cuales los científicos deberán enfrentarse, como: ¿Qué debemos priorizar como sitios destinados a conservación, áreas con alta concentración de especies o áreas con alta diversidad de características o historia evolutiva? ¿Qué componentes de la biodiversidad se ven salvaguardados con las legislaciones que buscan proteger los ecosistemas? ¿Qué debería ser prioridad para conservación, aquellas áreas en donde se han originado múltiples especies afines entre sí o aquellas en donde se refugian linajes antiguos y lejanamente emparentados?

### **3) De diversidades funcionales...**

Recientemente, los científicos han introdu-

cido en ecología el concepto de “diversidad funcional”, para hacer referencia a otro componente de la biodiversidad. Este concepto, se centra en describir las funciones que desempeñan los organismos en una comunidad o ecosistema, por medio del estudio de la variedad de “rasgos funcionales”. En el caso de las plantas, los rasgos funcionales son características morfológicas (p. e. altura, diámetro a la altura del pecho, longitud de la raíz, etc.) (ver figura 3), fisiológicas (p. e. potencial hídrico de las hojas, carbohidratos solubles totales, conductividad electrolítica, etc.) y fenológicas (p.e. tiempo de retención de las hojas, peso de biomasa aérea, etc.); que impactan directamente sobre la capacidad de adaptación, sobrevivencia y la producción de descendientes de las especies.

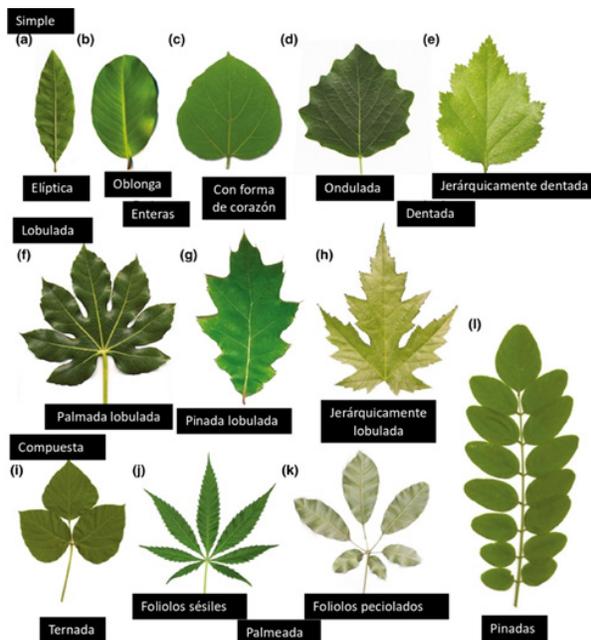


Figura 3. Ejemplos de diferentes formas y tipos de hojas, estas características pueden representar adaptaciones que les ayudan a las plantas a desarrollar diferentes funciones en el ecosistema, como: una mayor / menor captación de luz, mayor / menor retención de agua, mayor / menor captación de CO<sub>2</sub>, etc. Imagen modificada de Runions et al., (2017, p. 2).

La manera más sencilla de describir la diversidad funcional de un sitio es separando a las especies por “grupos funcionales”. Es decir, se fragmenta un grupo de especies en subconjuntos o colecciones de organismos que comparten características que les hacen desempeñar funciones similares en el ambiente, por ejemplo: plantas, herbívoros y carnívoros. Además, existen al menos cuatro componentes principales de la diversidad funcional en ecología, que son: la riqueza, la equitatividad, la divergencia y la especialización. Estos cuatro componentes ayudan a los científicos a examinar con mayor detalle los mecanismos y procesos que relacionan a la diversidad con el funcionamiento de los ecosistemas (Córdova-Tapia & Zambrano, 2015, p. 81).

El funcionamiento del ecosistema, se ha vuelto una prioridad en asuntos relacionados con la conservación, debido a que muchos servicios ecosistémicos con valor de uso para el ser humano, como el almacenamiento de carbono y la producción de alimentos, se encuentran asociados directamente con el funcionamiento, y por lo tanto, existen fuertes incentivos económicos para conservarlos (Cadotte et al., 2011, p. 1085).

Para pensar en la metáfora del Arca de Noé desde esta perspectiva, hay que considerar que en la preservación de grupos funcionales existen especies que son decisivas, aquellas con funciones únicas que ninguna o muy pocas especies llevan a cabo. Estos grupos funcionales con una sola o muy pocas especies, son puntos estratégicos de conservación, y a menudo son conocidos como “especies clave”. Uno de los ejemplos más populares de especies clave es el caso de las abejas, las cuales utilizan el néctar de muchas flores e indirectamente transportan polen para ayudar al proceso de reproducción de muchas

plantas que el ser humano suele consumir en su alimentación. Por lo que, la conservación del grupo funcional de los polinizadores y en especial de las abejas, es de suma importancia desde el punto de vista económico y ecológico.

Esto, como señala Perry (2010, p. 479), implica para Noé la creación de un “ecosistema de funcionamiento” en el arca, en el cual estuviesen representadas todas las funciones que se desarrollan en los diversos ecosistemas que existen en el planeta Tierra. Por lo que, retornando al asunto de los baramines o tipos, ¿Noé habría construido el arca pensando en las diferentes funciones que presentarían los ecosistemas, luego de que los tipos puros y no puros que seleccionó bajasen del arca?, ¿Priorizaría Noé la preservación de especies funcionalmente clave a la hora de ponerlas a bordo?

Al tratar de responder estas preguntas, intuitivamente, el relato de Noé presenta muchos huecos de información desde el punto de vista de la diversidad funcional en ecología. Lo cual, por supuesto, debilita en muchos aspectos la creencia del relato bíblico de la conformación de un arca “perfecta”, que ayudase a Noé a preservar todas las especies y a los procesos ecosistémicos en las que éstas participarían.

Hoy en día y en la práctica, cada vez son más las estrategias de restauración y conservación que priorizan el uso de la diversidad funcional a nivel comunitario. El objetivo de estos proyectos es generar y/o mantener ecosistemas estables y funcionales (Cadotte et al., 2011, p. 1085). La diversidad funcional es una herramienta muy valiosa, la cual puede ayudarnos a resolver preguntas importantes con respecto a las diferentes problemáticas que pudie-

ran surgir en un futuro, a corto plazo, relacionadas con la pérdida de biodiversidad.

### Conclusiones

La ecología de comunidades ha abierto las puertas para discutir nuevas visiones relacionadas con el manejo y conservación de la biodiversidad. A través de los años, la diversidad taxonómica ha cobrado una importante relevancia para diseñar herramientas orientadas a realizar acciones de conservación. Sin embargo, en la actualidad y debido al avance en diferentes campos de la ciencia como los sistemas de información geográfica, la ecofisiología, la bioestadística, y la genética, se ha logrado tener un panorama mucho más profundo acerca de los diferentes componentes de la biodiversidad, surgiendo de esta manera los enfoques filogenético y funcional.

La pérdida de biodiversidad que se encuentra íntimamente relacionada con el desarrollo de actividades humanas nos ha planteado nuevos retos de cómo entender la naturaleza. Las extinciones masivas de especies son un problema real al que nos enfrentamos como sociedad, no es un simple cuento popular o una saga surrealista de improbabilidades, como es el caso del Arca de Noé. Pero compareciendo ante las analogías, tal vez, si existiera un arca ésta sería el planeta Tierra, y solo tal vez, este barco que compartimos con las diferentes especies que coexistimos debiésemos conservarle y cuidarle mucho más para que llegue a buen puerto, porque al parecer el diluvio ya está ocurriendo

### Referencias

Cadotte, M. W., Carscadden, K., y Mirotchnick, N., Beyond species: Functional diversity and the maintenance of ecological processes and services, *Journal of Applied*

- Ecology, 48[5], pp. 1079–1087, 2011.
- Córdova-Tapia, F., y Zambrano, L., Functional diversity in community ecology, *Ecosistemas*, 24[3], pp. 78–87, 2015.
- Faith, D., Conservation evaluation and phylogenetic diversity, *Biological Conservation*, 61[1], pp. 1–10, 1992.
- Moore, R., The Impossible Voyage of Noah's Ark, *Creation/Evolution Journal*, 4[1], pp. 1-39, 1983.
- Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G. B., y Worm, B., How many species are there on earth and in the ocean?, *PLoS Biology*, 9[8], pp. 1–8, 2011.
- Neeson, T. M., Van Rijn, I., y Mandelik, Y., bility of higher taxon surrogates, *Ecological Applications*, 23[5], pp. 1216–1225, 2013.
- Núñez, I., González-Gaudio, É., y Barahona, A., La biodiversidad: Historia y contexto de un concepto, *Interciencia*, 28[7], pp. 387-393, 2003.
- Perry, N., The ecological importance of species and the Noah's Ark problem, *Ecological Economics*, 69[3], pp. 478–485, 2010.
- Rivera, R., Diversidad filogenética : una forma de medir la historia evolutiva de la biodiversidad, *Desde el Herbario CICY*, 275 [December], pp. 270–275, 2020.
- Runions, A., Tsiantis, M., y Prusinkiewicz, P., A common developmental program can produce diverse leaf shapes, *New Phytologist*, 216[2], pp. 401–418, 2017.
- How taxonomic diversity, community structure, and sample size determine the reliability of higher taxon surrogates, *Ecological Applications*, 23[5], pp. 1216–1225, 2013.