



## ¿Cuál es el alcance de la crisis de la Taxonomía? Conflictos, retos y estrategias para la construcción de una Taxonomía renovada

Jorge Ari Noriega<sup>1</sup>, Ana M.C. Santos<sup>1</sup>, Silvia C. Aranda<sup>1</sup>, Joaquín Calatayud<sup>1,2</sup>, Indradatta de Castro<sup>1,3</sup>, Verónica R. Espinoza<sup>1</sup>, José Luis Hórreo<sup>4</sup>, Nagore G. Medina<sup>1,5</sup>, Marisa L. Peláez<sup>6</sup> & Joaquín Hortal<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Biogeografía y Cambio Global, Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de Alcalá, Edificio de Ciencias, Ctra. Madrid-Barcelona km. 33.6, 28871 Alcalá de Henares, Madrid, España.

<sup>3</sup> Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Campus de Fuentenueva, 18071 Granada, España.

<sup>4</sup> Department of Ecology and Evolution (DEE), Biophore, University of Lausanne, 1015 Lausanne, Switzerland.

<sup>5</sup> Departamento de Biología (Botánica), Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, C./Darwin 2, 28049 Madrid, España.

<sup>6</sup> Centro de Investigaciones Biológicas (CIB - CSIC), C/Ramiro de Maeztu 9, 20840 Madrid, España.

Correos electrónicos:

jnorieg@hotmail.com, ana.margarida.c.santos@googlemail.com, silvia.c.aranda@gmail.com, joaquin.calatayud@edu.uah.es, indradatta@wanadoo.fr, espinoza.veronica85@gmail.com, horreojose@gmail.com, nagore.garcia@uam.es, maaller@yahoo.es, jhortal@mncn.csic.es

*“El inicio de la sabiduría es llamar las cosas con su nombre correcto.”  
Confucio - 475 a.C.*

### Introducción

Durante las últimas tres o cuatro décadas la investigación en biodiversidad ha sufrido un cambio radical. Hasta los años 60 o 70 del siglo pasado, las ciencias naturales (cuya parte biológica comprendía el estudio de la diversidad de la vida) tenían un enfoque eminentemente descriptivo. Los taxónomos inventariaban especies utilizando la morfología para describir sus formas, y a veces con ayuda de la fisiología y la ecología añadían caracteres no morfológicos a esas descripciones. Su distribución en el espacio era descrita por la faunística, la florística y la biogeografía, y su evolución en el tiempo por la paleontología y la sistemática.

A lo largo de un proceso gradual, este enfoque basado en inventariar la biodiversidad ha dado paso a un énfasis en su significado evolutivo y ecológico. Es decir, al estudio de los procesos encargados de generar dicha biodiversidad, su dinámica espacial y temporal, y el impacto que esta tiene sobre el funcionamiento de los ecosistemas. Dicho cambio ha venido propiciado, en parte, porque el conocimiento generado tras más de dos siglos de inventario sistematizado ha permitido avanzar, en los cuerpos de conocimiento de la evolución y la ecología, hasta el punto de lograr crear una ciencia de índole predictiva (al menos para ciertos organismos), con bases sólidas en el terreno experimental. Adicionalmente, las nuevas técnicas en estadística, biología molecular, detección remota, datación estratigráfica y computación han logrado que podamos aproximarnos de forma más precisa al estudio de la naturaleza de manera cuantitativa, lo cual permite hacer generalizaciones de manera mucho más rigurosa y robusta que en el pasado.

Sin embargo, existe la percepción entre algunos científicos de que el auge de la investigación en ecología y evolución ha conllevado a una infravaloración del trabajo taxonómico, propiciando una crisis en

la Taxonomía. Por un lado, los niveles de financiación dedicados a la investigación han disminuido de forma significativa, con la consiguiente reducción del trabajo taxonómico. Por otro lado, la aparición de áreas científicas con una base más cuantitativa y que por lo tanto, generan conocimiento que es *a priori* más fácil de criticar y falsear, ha dado lugar a una pérdida de prestigio de la taxonomía, que estaba basada en el criterio de autoridad sobre aspectos y clasificaciones cualitativas. A todo lo anterior se suma la aparición de la “falsa” creencia de que la Taxonomía es simplemente un trabajo de índole técnico, con un valor limitado para el avance de la investigación en biodiversidad, ya que una vez se cuente con un conocimiento taxonómico suficiente para responder a las grandes preguntas que se hacen tanto ecólogos como biólogos evolutivos, ésta podría perder su importancia.

En este capítulo revisamos algunos aspectos de esta “crisis de la Taxonomía”, identificando puntos críticos de la misma. Para ello, primero definimos qué es la Taxonomía, con una breve descripción de su desarrollo histórico. Además, identificamos quién la lleva a cabo, así como en qué grado son importantes unas u otras aproximaciones a esta disciplina. Hacemos una distinción entre los conceptos de Taxonomía, clasificación y sistemática para, posteriormente, describir la utilidad e importancia actual de esta disciplina para el avance de la ciencia en diferentes aspectos, y para su subsecuente aplicación práctica en múltiples áreas del conocimiento. Posteriormente, evaluamos el alcance de la crisis de la Taxonomía, evidenciando los conflictos más importantes que creemos existen en la actualidad y finalizamos proponiendo algunas estrategias que se deben priorizar, ya que aportan herramientas para gestionar una Taxonomía renovada de cara al futuro.

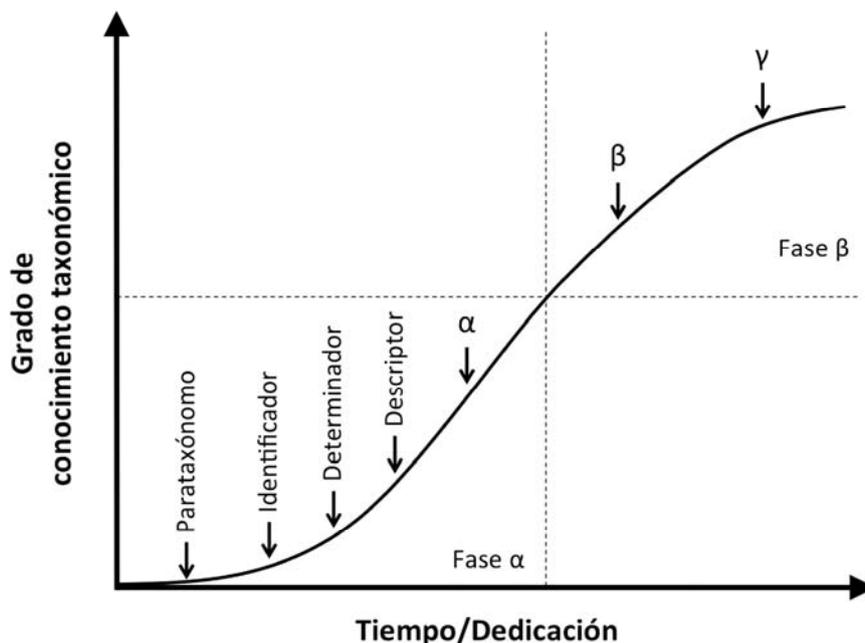
## ¿Qué es Taxonomía y qué hace un taxónomo?

Etimológicamente hablando, la palabra Taxonomía proviene del griego *taxis* que significa conjunto o división/ordenación y *nomos* que significa ley/mide/regula, por lo que la Taxonomía podría entenderse como la ley de los conjuntos o de las divisiones/que regula la ordenación. En una acepción más contemporánea, podemos definir la Taxonomía como la disciplina encargada de la clasificación de los organismos en un sistema de categorías jerárquicas, basado en caracteres informativos, que intentan reflejar las relaciones filogenéticas (es decir, evolutivas) que existen entre ellos (Wilson, 1985; Winston, 1999; Wheeler, 2008). Sin embargo, existen muchas definiciones de lo que es Taxonomía, especialmente porque el uso de este concepto, se aplica en muchos contextos diferentes (Mayr, 1969). Esto ha ocasionado, en el mejor de los casos, una simple confusión semántica y en el peor, el llegar a considerar a la Taxonomía no como una ciencia sino como un simple conjunto de técnicas o herramientas metodológicas.

El origen de la Taxonomía se remonta a los primeros ejercicios de clasificación realizados por Aristóteles (384–322 a.C.) en la Grecia antigua, al distinguir a dos grandes grupos que llamó “géneros máximos”: los *anaima* (animales sin sangre o actuales invertebrados) y los *enaima* (animales con sangre o actuales vertebrados) (Detel, 1999). En su forma moderna, su origen se sitúa en el momento en el que Carolus Linnaeus (1707-1778) publicó la primera edición de su *Systema Naturae* en 1735. Sin duda alguna, el principal aporte de Linnaeus a la Taxonomía moderna fue proponer un sistema simplificado y estandarizado que facilitara el entendimiento y organización de la diversidad biológica (Mayr *et al.*, 1953). En los siglos que sucedieron al trabajo de Linnaeus, la Taxonomía se afianzó como la base de las ciencias naturales, generando un auge de esta disciplina y sirviendo de base para la transformación de áreas como la biogeografía, ecología y evolución.

En este contexto, existen tres aproximaciones metodológicas y conceptuales dentro de la Taxonomía, de complejidad progresiva: Alfa, Beta y Gamma (Fig. 1). La Taxonomía Alfa ( $\alpha$ ) se caracteriza por incluir etapas como la exploración, descripción y denominación de los taxones, en algunas ocasiones con pocos individuos y buscando, en la mayoría de los casos nuevas especies, con muy pocas conexiones o sin las comparaciones necesarias con el resto de los grupos. La Taxonomía Beta ( $\beta$ ) es una fase de síntesis, en donde la preocupación se centra en contextualizar la información sobre las especies en el marco evolutivo, generando propuestas robustas de clasificación a partir la distribución de los caracteres presentes en los diferentes grupos. Este trabajo se realiza principalmente a través de revisiones extensas y monográficas, que pueden incluir nuevas especies y análisis de las relaciones evolutivas entre los taxones. Finalmente, la Taxonomía Gamma ( $\gamma$ ) busca realizar análisis filogenéticos incluyendo clados completos a diferentes niveles supra genéricos, incorporando la interacción con diferentes áreas (por ejemplo, biogeografía, biología comparada, etología, fisiología, *etc.*), logrando con ello entender las relaciones con otros niveles taxonómicos superiores y generando en la mayoría de los casos la reorganización de tribus, subfamilias, familias y otros taxones de alto rango (Simpson, 1961; Moreno, 2001; Magurran, 2004). Estos niveles no son excluyentes, y un número considerable de taxónomos modernos hacen un poco de cada una de estas fases a la vez (Fig. 1).

Durante más de dos siglos, la Taxonomía se basó principalmente en el uso de caracteres morfológicos para distinguir especies y otras categorías taxonómicas, e inferir las relaciones filogenéticas entre ellas. Sin embargo, esta disciplina ha cambiado profundamente a lo largo de su historia, no solo en su filosofía sino al incluir y utilizar metodologías de análisis muy diferentes. Actualmente la Taxonomía integra técnicas morfológicas, ecológicas, etológicas y moleculares y responde a múltiples preguntas. Desde la segunda mitad del siglo pasado, el uso de caracteres moleculares, fisiológicos, ecológicos e incluso comportamentales ha cobrado una gran importancia. Dentro de este marco conceptual, la tarea de un taxónomo consistiría en interpretar y generar una hipótesis binomial de las relaciones de una especie con el resto de los elementos de un determinado taxón, especialmente con aquellos más cercanos filogenéticamente, utilizando diferentes tipos de caracteres informativos (Franz *et al.*, 2008), lo cual como objetivo final permitiría definir el límite entre poblaciones y especies.



**Figura 1.** Relación entre el grado de conocimiento taxonómico y la cantidad de tiempo/dedicación necesaria, tanto para la realización del trabajo como para la adecuada formación del taxónomo que lo realiza. En este esquema adoptamos un criterio amplio para definir el trabajo taxonómico, considerando taxónomos a todos aquellos investigadores que clasifican organismos en entidades independientes basados en grados crecientes de entrenamiento. Los diferentes tipos de taxónomos se distribuyen entre la fase alfa ( $\alpha$ ) de descripción de especies, y la fase beta ( $\beta$ ) de revisión sistemática de las relaciones evolutivas entre especies y la clasificación y relaciones entre taxones de alto rango. Dentro de la fase alfa es posible distinguir entre parataxónomos –técnicos capaces de separar individuos entre morfoespecies, identificadores– aquellos que son capaces de identificar especies concretas a partir de una clave, determinadores –que dominan la taxonomía de un grupo y están capacitados para identificar las especies del mismo, y descriptores– que son capaces de identificar nuevos taxones y otorgarles un nombre. La suma de todos estos atributos caracterizan a un taxónomo alfa, que además es capaz de clasificar a las especies que describen dentro de la jerarquía taxonómica de manera que refleje sus relaciones evolutivas. Dentro de la fase beta es posible distinguir dos tipos de científicos: los beta taxónomos ( $\beta$ ), que son capaces de hacer revisiones de la información disponible sobre un taxón de alto rango, corrigiendo sinonimias y homogeneizando la clasificación a diferentes niveles de organización; y los gamma ( $\gamma$ ) taxónomos, que además son capaces de utilizar diferentes fuentes de información (morfológica y/o genética) disponible para generar hipótesis complejas sobre las relaciones evolutivas (filogenias) entre los taxones que componen el grupo estudiado.

### ¿Cuál es la diferencia entre Taxonomía, clasificación y sistemática?

Es frecuente que se utilicen de manera indistinta los términos de Taxonomía, clasificación y sistemática, ya que no existe una clara definición conceptual entre ellos y algunos investigadores los mezclan y confunden reiteradamente (Winston, 1999). En el libro de *“Principios de la Taxonomía Zoológica”* Mayr (1969) señala una importante diferencia entre Taxonomía y sistemática, definiendo la taxonomía como: *“la teoría y la práctica de clasificar organismos”* y la sistemática como *“la ciencia de la diversidad de los organismos”*. Por otro lado, Simpson (1961), en el capítulo introductorio de su libro aclara que: *“la sistemática es un campo más amplio que la taxonomía y por ende la contiene”*. De igual manera, Wilson (1985) define a la Taxonomía como una subdivisión de la sistemática, que consiste en tres actividades: identificación, clasificación y nomenclatura. Sin embargo, existen algunos investigadores que consideran que la sistemática es una subdisciplina de la Taxonomía que se encarga de la reconstrucción de la filogenia de los organismos (Wheeler, 2008).

En contraste, la clasificación sería un procedimiento metodológico de ubicar un determinado taxón dentro de una serie de niveles jerárquicos taxonómicos (por ejemplo, género, familia, orden, clase), por lo que la clasificación es un paso metodológico dentro del proceso taxonómico, entre los otros componentes que incluye (Platnick, 1978). Es importante señalar que esta clasificación biológica, no es equiparable a la clasificación que se hace con objetos inanimados, la cual no busca entender su evolución (Valdecasas *et al.*, 2013). En una acepción más moderna, la sistemática es la organización de los seres vivos en series jerárquicas de grupos, enfatizando en sus interrelaciones filogenéticas (Lincoln *et al.*, 1998). En este sentido, Cracraft (2002) define las cuatro áreas principales en la que se desenvuelve/divide la sistemática: **1)** el estudio de la biodiversidad, **2)** la documentación de la filogenia de los seres vivos, **3)** el análisis de los procesos evolutivos y **4)** la teoría y práctica de la Taxonomía. La sistemática por ende, es el campo científico encargado de la organización, historia y evolución de la vida, preguntándose aspectos como: ¿Cómo se originó la vida?, ¿Cómo se diversificó? y ¿Cómo se distribuye en el tiempo y el espacio? (Novacek, 1992).

## Importancia de la Taxonomía

Una vez definido lo que entendemos por Taxonomía, es relativamente sencillo determinar sus campos de actuación. Esto permite contestar la percepción de que la Taxonomía es una simple herramienta de las ciencias naturales, mediante un repaso de su importancia transversal a lo largo de un gran número de ramas teóricas y aplicadas de las ciencias naturales. La Taxonomía juega un papel fundamental en muchísimas áreas de las ciencias naturales, entre las que destacan la gran mayoría de, si no todos, los tópicos estudiados en ecología y evolución, así como áreas tan dispares como los análisis forenses, el estudio y generación de nuevas medicinas, la estructuración de estrategias de conservación (Iriondo, 2000), los proyectos de ingeniería forestal y mejora agrícola (Lyal *et al.*, 2008), o la organización y manejo de colecciones biológicas (Bradley *et al.*, 2014), entre muchos otros. La falta de la taxonomía o una taxonomía deficiente compromete seriamente el avance de todas estas disciplinas y con ello, gran parte sino todo, el cuerpo teórico de las ciencias naturales. En esta sección ofrecemos un pequeño recorrido por algunas de las áreas y tópicos en las cuales la taxonomía juega un papel fundamental en el avance y la aplicación del conocimiento. Esta lista dista mucho de ser exhaustiva, sino que pretende ofrecer un conjunto limitado de pequeños ejemplos –a veces muy concretos– en áreas conceptualmente diversas del estudio de la biodiversidad, desde su inventario hasta aplicaciones prácticas de bioseguridad, pasando por la biogeografía, la evolución o la ecología funcional.

- **Estudios de evolución y filogenia.** El principal y más importante aporte de la taxonomía respecto a los estudios evolutivos, es la definición de las unidades básicas sobre las que se cimientan los análisis filogenéticos, y con ello, las inferencias evolutivas que se derivan de ellos (Padial *et al.*, 2010). Más aún, nuestra forma más directa de entender la naturaleza, y de aproximarnos conceptualmente a la evolución de los organismos, es a través de los fenotipos. En este sentido, la información biológica (por ejemplo, morfología, etología, molecular o fisiología) derivada de los estudios taxonómicos, es utilizada como fuente de información en los trabajos evolutivos. De igual manera, la calidad de la información taxonómica utilizada en los estudios filogenéticos es determinante de la calidad de los resultados que se encuentren. Por ejemplo, la identificación errónea de organismos cuyas secuencias se publican en bases de datos moleculares –como *GenBank*– puede llevar a resultados e inferencias erróneas (Nilsson *et al.*, 2006), con las repercusiones y consecuencias que esto puede tener en áreas como la conservación. Es importante resaltar la existencia en el genoma de “genes representativos” (Horreo, 2012), que nos pueden aportar información cercana a la historia evolutiva del organismo.
- **Elaboración de inventarios faunísticos a diferentes escalas.** El estudio de los patrones de diversidad a diferentes escalas espacio-temporales requiere de inventarios basados en unidades taxonómicas delimitadas e identificadas correctamente bajo un sistema en el que sea posible hacer comparaciones entre ellas, permitiendo el estudio de las variaciones de la diversidad. Disponer de un sistema común de clasificación nos permite además trabajar con inventarios faunísticos provenientes de diferentes fuentes, abarcando áreas geográficas extensas y permitiendo realizar análisis de patrones de diversidad y distribución a gran escala (Wilson, 1992). Adicionalmente, contar con un esquema taxonómico común permite estudiar variaciones temporales y examinar hasta qué punto la estructura de los ensamblajes ha cambiado a lo largo del tiempo, reaccionando a diversos procesos como el calentamiento global. El taxónomo juega aquí un papel imprescindible a la hora de proporcionar y mantener dicha información actualizada y comparable. En definitiva, los inventarios de especies aportan información primaria y al mismo tiempo primordial acerca de la diversidad (Hortal, 2008), altamente relevante para generar hipótesis acerca de qué factores y mecanismos determinan la coexistencia de especies en el tiempo y el espacio, así como su distribución geográfica a diferentes escalas (por ejemplo, Sánchez-Fernández *et al.*, 2008; Pfeiffer & Mezger, 2012; ver Hortal *et al.*, 2010).
- **Estudios sobre la distribución geográfica de la biodiversidad.** La correcta identificación de las especies también es clave para el estudio de la distribución de la biodiversidad. Una Taxonomía inexacta puede no sólo ofrecer estimas erróneas de los rangos de distribución de las especies, sino también sobre la diversidad y la composición de las comunidades, comprometiendo tanto los estudios en biogeografía como la identificación de áreas prioritarias de la conservación (Bortolus, 2008). Lozier *et al.* (2009) proporcionan un ejemplo muy pintoresco pero bastante gráfico, modelizando la distribución geográfica y el nicho climático del “pie grande” (*bigfoot*) en la costa oeste de Norteamérica a partir de datos sobre la localización de rastros (huellas y gritos) de esta criatura mitológica. Lógicamente, al realizar un modelo de distribución semejante con datos del oso negro, cuyos resultados coinciden con los del *bigfoot*, demostraron que dichos rastros no son caracteres diagnósticos de esta criatura, sino del oso. Es claro que el grado de robustez de nuestro conocimiento biogeográfico depende de la fiabilidad de las identificaciones taxonómicas en las que se sustenta. La calidad de los datos también es crítica para el análisis de las respuestas de las especies a gradientes ambientales. Dentro de la biogeografía y la macroecología, el estudio de los gradientes altitudinales y geográficos a diferentes escalas espaciales permite entender los patrones de movilidad de las especies y los óptimos fisiológicos de temperatura, a medida que el clima varía con el tiempo (García-López *et al.*, 2012). Para realizar estos estudios, es fundamental considerar la clasificación de los ejemplares registrados, por lo que se necesita una Taxonomía clara. Por ejemplo, al realizar comparaciones espacio-temporales con registros históricos vs. actuales, es necesario tomar registros históricos colectados en gradientes altitudinales, los cuales fueron tomados por un taxónomo y depositados en un museo (Alberch, 1993; Fontaine *et al.*, 2012). Si no se hubiese realizado esta importante labor de colecta, inventario faunístico y su taxo-

nomía alfa correspondiente sería imposible realizar estudios en el tiempo (Venn *et al.*, 2012) o proponer reglas en ecología del paisaje en relación con la elevación como la regla de Rapoport (Stevens, 1992).

- **Estudio de interacciones bióticas.** En estudios relacionados con interacciones bióticas, imprecisiones en la determinación taxonómica pueden dar lugar, por ejemplo, a estimaciones erradas, lo que a su vez podría afectar la medición de propiedades de las redes de interacción o de los modelos de estabilidad ecológica y persistencia de las comunidades (por ejemplo, James *et al.*, 2012). Asimismo, aunque la biología de sistemas pueda prescindir en determinados casos de un conocimiento taxonómico concreto (por ejemplo, Gómez & Perfectti, 2012), los nuevos retos de esta línea de investigación están dirigidos a comprender cuáles son los mecanismos que gobiernan las interacciones entre especies, además de cómo varían estas interacciones en el tiempo y el espacio (Kissling & Schleuning, 2014; Poisot *et al.*, 2014). Bajo este nuevo prisma, la Taxonomía constituye una herramienta fundamental, ya que el estudio de la variación espacio-temporal de las interacciones requiere que los individuos interactuantes de distintas localidades (o lapsos de tiempo) sean identificados correctamente.
- **Estudios de diversidad funcional y caracteres con significado ecológico.** La elección, medición y análisis de la variación de rasgos (*traits*) en un determinado taxón es un proceso delicado, sobre todo en los límites de la definición de rasgo funcional (Díaz *et al.*, 2013; Mlambo, 2014; Violle *et al.*, 2014) ya que afecta la asunción conceptual de la certeza taxonómica del mismo. Hay rasgos funcionales que son medibles a nivel del individuo, de la población, de la especie y quizá de la comunidad o del ecosistema. Esto implica que para analizar la variación de rasgos con significado ecológico y/o evolutivo, es esencial conocer el nivel de clasificación del taxón que se considera y tener certeza sobre dicha identificación. Asimismo, para poder evaluar la diversidad funcional a cualquier escala (Pasari *et al.*, 2013), es imprescindible delimitar las especies con las que se trabaja.
- **Estudio de servicios ecosistémicos.** Algunos autores han propuesto prescindir de las especies taxonómicas usando en su remplazo unidades funcionales (Picard *et al.*, 2012), que pueden llegar a agrupar taxones muy distantes (por ejemplo, grupo-funcional “insectívoros” de un mismo ecosistema: aves, murciélagos, erizos, pequeños carnívoros, otros artrópodos, *etc.*; ver por ejemplo, Polis, 1991). En cualquier caso, para un completo y estructurado análisis funcional del ecosistema es de vital importancia reconocer las entidades taxonómicas (que luego se incluirán en unos u otros grupos funcionales) y su historia natural (ecología, dieta, etología, fenología, *etc.*). Adicionalmente, sin una clara identificación taxonómica es muy fácil incurrir en el error de atribuir características funcionales de categorías taxonómicas superiores (género, familia, orden, *etc.*) a todas las entidades taxonómicas contenidas en dicha categoría. El asumir funciones ecosistémicas similares para taxones hermanos, puede enmascarar diferencias importantes en la manera de ejecutar una función determinada, o su efectividad, e inducir a conclusiones erróneas sobre el funcionamiento de un ecosistema. Al agrupar especies en grupos funcionales usando un único rasgo (asumiendo un solapamiento o redundancia funcional en ese rasgo) se corre el riesgo de enmascarar la diversidad funcional de otras especies. Por ello, el uso de especies claramente delimitadas taxonómicamente en el estudio del funcionamiento de los ecosistemas permite ampliar el conocimiento de la historia natural e incluir funciones ecosistémicas/ecológicas de las especies evaluadas (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013), facilitando posteriores análisis en condiciones presentes y futuras.
- **Identificación y consolidación del *status* de plagas o especies invasoras.** Normalmente, las especies plagas o invasoras son consideradas en muchos contextos como una de las principales causas de pérdida de biodiversidad a nivel global (Drake *et al.*, 1989; Levine *et al.*, 2003; Vilà *et al.*, 2006). Uno de los primeros pasos para combatir estas especies plaga y/o invasoras es la correcta identificación taxonómica con miras a generar programas de control biológico específicos (Delucchi *et al.*, 1976). Sin una adecuada identificación, todos los esfuerzos subsecuentes pueden ser totalmente inútiles. En este sentido, existen numerosos ejemplos de especies mal identificadas que llevaron a grandes pérdidas económicas. Un ejemplo clásico es el del piojo rojo de California (Hemiptera: Diaspididae, *Aonidiella aurantii* [Maskell, 1879]) que se extendió desde el sudoeste asiático hacia las zonas cítricas del mundo y al no ser correctamente identificado, las especies que se utilizaron para su control biológico atacaban a otras especies del mismo género (Gordh & Beardsley, 1999). Igualmente, para la aplicación de programas de control biológico, es necesaria la correcta identificación de los enemigos naturales que van a ser utilizados. Un ejemplo, en este sentido, fue la incorrecta identificación de una especie de avispa parasitoide del género *Thrichogramma* (Hymenoptera: Thrichogrammatidae) que controla los huevos de algunos insectos. La liberación de una especie incorrecta conllevó a una drástica reducción de las poblaciones de una especie nativa del mismo género que brindaba importantes servicios ecosistémicos en el control de otras plagas (Stouthamer *et al.*, 2000).
- **Identificación de especies peligrosas para el ser humano.** La identificación de especies en productos como alimentos, guardaría estrecha relación con la seguridad humana, ya que conlleva riesgos de alergias (por ejemplo, Triantafyllidis *et al.*, 2010), además del propio fraude económico por no ser todas las especies ó variedades igualmente valoradas en el mercado. La identificación de especies mediante la genética hace que no sea necesario el individuo completo para su identificación taxonómica, e incluso una mínima región de ADN es capaz de identificar la especie animal original de un alimento procesado (80-125bp de rDNA 16S; Horreo *et al.*, 2011), lo cual es especialmente importante a este nivel de análisis. De la misma manera, la identificación y seguimiento de especies patógenas para el

ser humano, especialmente de aquellas que provocan epidemias y pandemias, son de especial relevancia para la seguridad sanitaria mundial.

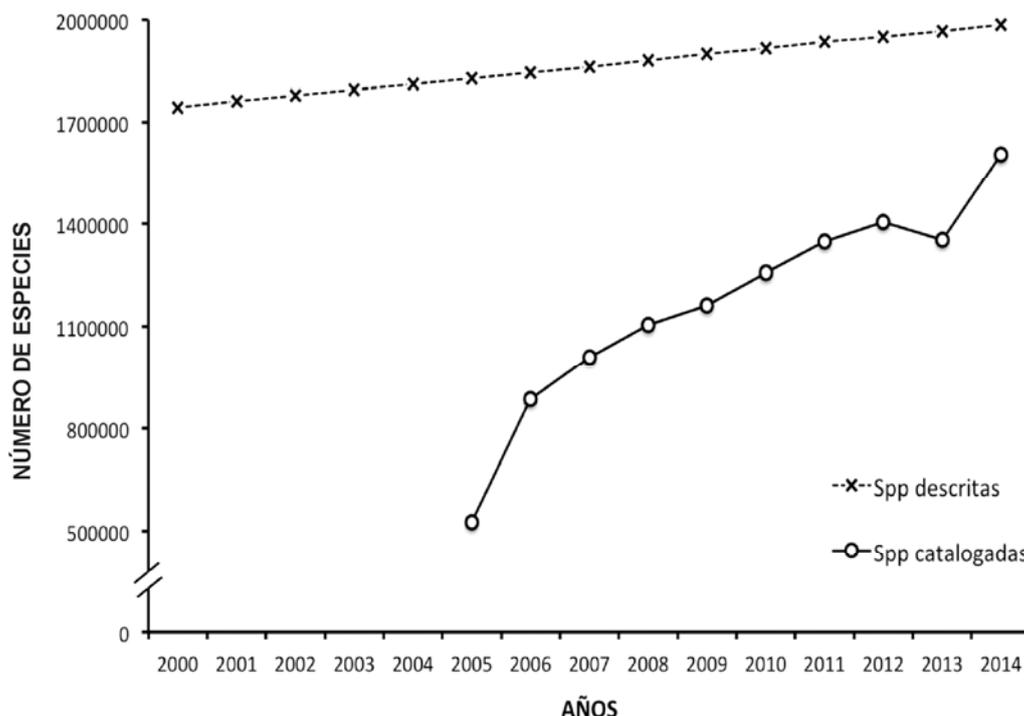
- **Gestión y conservación de recursos naturales.** La identificación taxonómica de especies es fundamental para la conservación de las mismas, ya que gracias a ella es posible conocer si especies y/o poblaciones de especial interés y/o protección están siendo explotadas errónea o fraudulentamente. Posteriormente, esta información servirá para rediseñar planes de manejo y gestión de los recursos afectados. Se han identificado, por ejemplo, diferentes especies de merluza con una morfología similar que están incorrectamente etiquetadas/identificadas y distribuidas en grandes mercados Europeos (García-Vázquez *et al.*, 2009). Esto ha provocado que la explotación de ambas especies se esté llevando a cabo de manera inadecuada y ponga en riesgo tanto su conservación como el manejo de sus poblaciones por la industria pesquera.

## ¿Está la Taxonomía realmente en crisis? Conflictos a los que se enfrenta

Desde finales de la década de los años 80 (siglo XX) es evidente que una abrumadora proporción de la diversidad global es todavía desconocida para la ciencia (por ejemplo, May, 1988; Purvis & Hector, 2000; Mora *et al.*, 2011). En la actualidad, la descripción y clasificación de la diversidad biológica es una tarea que dista mucho de estar acabada. Existen alrededor de 1,7 millones de especies descritas (Chapman, 2009; May, 2011; Mora *et al.*, 2011), sin embargo, el número estimado de especies que permanecen aún sin describir oscila entre 5 y 50 millones, si hacemos caso a las estimas que utilizan grupos megadiversos como coleópteros, hongos o invertebrados marinos (Grassle, 1991; Hawksworth, 1991; Erwin, 1982, 1988; Chapman, 2009; Mora *et al.*, 2011; Costello *et al.*, 2012). Esto genera un abrumador panorama, evidenciando que el porcentaje de la biodiversidad que conocemos a nivel de especies oscila entre el 34 y el 3,4% dependiendo del valor estimado que se considere. Lo cual se corrobora por el hecho de que todos los años se describen nuevas especies, incluso en grupos tan bien conocidos como los mamíferos. Tal es el caso del Olinguito (Carnivora: Procyonidae, *Bassaricyon neblina* Helgen, 2013) descubierto recientemente a partir de material de colecciones para Colombia (Helgen *et al.*, 2013). Por ello, varios taxónomos, y científicos en general, han llamado la atención acerca de la importante tarea que tiene la taxonomía y de la falta de apoyo institucional y gubernamental, de fondos y de personal calificado para llevar a cabo esta titánica labor (por ejemplo, Stuessy & Thompson, 1981; Wilson, 1985; Scudder, 1987; Novacek, 1992; Godfray, 2002; Raven, 2004), pronosticando una inminente crisis taxonómica.

No obstante, la taxonomía está en un proceso de fuerte renovación, incorporando nuevas técnicas y herramientas bioinformáticas (de Carvalho *et al.*, 2007). Debido a su importancia en el contexto de la Taxonomía actual, de entre estas nuevas técnicas cabría resaltar el *DNA barcoding* (código de barras del ADN), que ha recibido mucha atención durante la última década. La incorporación de esta técnica constituye de por sí un desafío para la taxonomía del Siglo XXI. Este concepto fue introducido por Hebert *et al.* (2003), sugiriendo que una secuencia del gen mitocondrial COI (Citocromo Oxidasa subunidad I) podría ser utilizado como una herramienta para la identificación y la delimitación de las especies animales. Posteriormente, Kress *et al.* (2005) propusieron una serie de genes alternativos para plantas, lo que desembocó en la propuesta de utilizar la combinación de dos genes del cloroplasto para este reino (Hollingsworth *et al.*, 2009). La idea general del *DNA barcoding* es que cada especie posee una información única y diferencial en estos genes, lo que permitiría identificar un individuo de la misma manera que un escáner del supermercado utiliza los códigos de barras para identificar los productos de la tienda. Para ello, es necesario comparar las secuencias de estudio con una biblioteca de referencia. El desarrollo de esas bibliotecas de referencia requiere de un estudio previo para determinar el grado de variabilidad de las secuencias entre especies para los distintos organismos (como ya aconsejaron Hebert *et al.*, 2003), así como de la generación de las propias secuencias y la identificación inequívoca de la especie de la que proviene. En este sentido se han realizado varios esfuerzos para la creación de bases de datos de libre acceso (por ejemplo, GenBank o BOLD – *Barcode of Life Data Systems*). E incluso se ha propuesto realizar descripciones e identificaciones automáticas de especies a partir de dichas bases de datos (por ejemplo, Ratnasingham & Hebert, 2007).

Sin embargo, aunque el *DNA barcoding* ha probado su utilidad en diferentes situaciones (por ejemplo, identificación de material biológico que no esté completo, como restos de animales o de plantas, identificación de estadios larvales, restos fósiles, o de contenidos estomacales y de heces), no se encuentra exento de limitaciones. Las identificaciones que se hacen con este método dependen de la calidad tanto de las identificaciones específicas, como de las propias secuencias disponibles en las bibliotecas de referencia. Para muchos grupos taxonómicos (por ejemplo, Hymenoptera, Diptera y Microlepidoptera), y a pesar de que continuamente se están añadiendo secuencias a estas bases de datos, la información disponible es incompleta, lo que dificulta la identificación de las muestras más allá de cierto nivel taxonómico (por ejemplo, Santos *et al.*, 2011). Por ello, aunque el surgimiento del *barcoding* ha permitido importantes avances en muchos grupos de organismos aportando información relevante a distintos niveles, es de vital importancia mantener la dualidad en la información (morfológica y molecular) a nivel del organismo (Giribet, 2015). Esta taxonomía integrativa (Dayrat, 2005) permitiría resolver cuestiones de coexistencia o de funciones ecológicas (redundancia de especies) a niveles distintos al molecular, y así no perder la información sobre las interacciones orgánicas y la complejidad ecosistémica. En este sentido, el *DNA barcoding* no debe ser sino una nueva y potencialmente poderosa herramienta en las manos del taxónomo (Hebert & Gregory, 2005).



**Figura 2.** Incrementos anuales en dos grandes categorías: la descripción de especies nuevas y la catalogación de las mismas a nivel mundial (incluyendo grupos terrestres y acuáticos), con nombres válidos durante los últimos quince años. Las tasas de descripción de nuevas especies se han calculado a partir del compendio de diferentes autores (Groombridge, 1992; Chapman, 2009; Costello *et al.*, 2012; SOS, 2012; Arbeláez-Cortes, 2013; Roskov *et al.*, 2014; Zamorano, 2014) y las tasas de especies catalogadas provienen de los nombres válidos proporcionados por las ediciones anuales del *Catalogue of life*, dentro del proyecto *Species2000* (disponibles en [www.catalogueoflife.org](http://www.catalogueoflife.org)).

A pesar de estas nuevas herramientas, un gran número de autores han señalado en los últimos años que la crisis de la biodiversidad a nivel global está estrechamente asociada con una crisis de la taxonomía (Wilson, 1992; Chevalier *et al.*, 1997; Godfray, 2002, 2007; Wilson, 2003; Raven, 2004; Wheeler *et al.*, 2004; de Carvalho *et al.*, 2005, 2007; Evenhuis, 2007; de Carvalho *et al.*, 2008; Schweitzer, 2008). Esto contrasta con la visión de Costello *et al.* (2012, 2013a, b), quienes defienden que ahora existen más taxónomos activos que nunca, y que a un buen ritmo de trabajo se puede describir una parte significativa de la biodiversidad antes de que ésta desaparezca. Nosotros, al igual que otros autores (por ejemplo, de Carvalho *et al.*, 2014), creemos que esta visión es excesivamente optimista, ya que dicho aumento en el número de taxónomos no es relativo al número de investigadores en total y no está corregido por el número de grupos taxonómicos a estudiar. A pesar de las nuevas técnicas y el ritmo más o menos constante de descripción de especies nuevas al año (Costello *et al.*, 2012), la taxonomía del siglo XXI se enfrenta a un creciente número de problemas y dificultades (The House of Lords, 2008). Además, a la vez que crece el número de taxónomos, también lo ha hecho el número de personas que trabajan en la descripción de una sola especie (Costello *et al.*, 2014), mientras que la tasa de descripción de especies no ha aumentado significativamente (Fig. 2).

La agudización de esta crisis ha llevado a que en las últimas décadas varios científicos y especialmente ecólogos hayan decidido prescindir del uso de la Taxonomía en sus estudios, debido a las trabas de tiempo y de certidumbre taxonómica en algunos grupos. Por ello, en la actualidad resulta relativamente común trabajar con categorías como morfoespecies o unidades evolutivas (*evolutionarily significant units* – ESUs o *molecular operational taxonomic units* - MOTUs) para documentar y analizar diferencias entre comunidades biológicas (por ejemplo, Oliver & Beattie, 1996). En este sentido algunos autores se preguntan si se necesita realmente la Taxonomía para hacer ecología (por ejemplo, Riddle & Haffner, 1999). Sin embargo, en términos de diseño de estrategias políticas y de conservación es muy difícil solucionar preguntas de investigación si no existe una clara delimitación de los elementos faunísticos y florísticos.

Recopilar y analizar exhaustivamente los conflictos a los que se enfrenta la taxonomía actual está fuera de los objetivos de este trabajo. Sin embargo, sí que es posible listar los más relevantes (ver Tabla I). En general, se puede organizar dichos conflictos en cinco categorías principales. En primer lugar, una serie de **limitaciones metodológicas** que impiden integrar el grado de detalle necesario para realizar la Taxonomía tradicional con las aplicaciones de uso masivo de datos, o *big data*, que son cada vez más comunes en ciencias naturales. Estas limitaciones se acrecientan debido a la **falta de reconocimiento** del trabajo taxonómico en la comunidad científica, acompañado de un bajo nivel de impacto de los trabajos taxonómicos según índices bibliográficos. Esta falta de prestigio se extiende a los gestores del medio natural y las organizaciones gubernamentales, y conlleva a una **escasez de fondos** debido a que, salvo

honrosas excepciones, las agencias de financiación no asignan partidas específicas para la Taxonomía, siendo elevado el grado de competencia por los limitados recursos destinados a la investigación en ciencias naturales. Este problema se suma a la **complejidad de la beta taxonomía**, cuyas revisiones conlleven un proceso largo y costoso en términos temporales (ver Fig. 1), que, a pesar de su importancia e impacto a largo plazo, deja pocos créditos, en forma de ciertos indicadores de productividad científica, como son el número de publicaciones y las citas en un periodo breve de tiempo, y de valoración dentro del mismo ámbito científico.

Tabla I. Principales problemas de la taxonomía, agrupados en función de cinco categorías principales.

**Limitaciones metodológicas:**

- Falta de un mayor número de herramientas taxonómicas adecuadas.
- Falta de integración entre la taxonomía y otras áreas del conocimiento, particularmente las que usan *big data*.

**Falta de reconocimiento:**

- Poca valoración del trabajo taxonómico en términos científicos y laborales. Cada vez hay menos taxónomos asociados a la academia y menos asignaturas de taxonomía en el currículo de las Universidades (Schrock, 1989; Wheeler, 2013).
- El nivel de impacto –el indicador de productividad científica más utilizado– de las revistas que publican regularmente artículos taxonómicos es muy bajo. En los últimos diez años (2005-2014) solo se han publicado veinte artículos que contengan trabajo puramente taxonómico, incluyendo la descripción de un nuevo género de primates, seis artículos sobre homínidos fósiles (la mitad de ellos dedicados al debate sobre el estatus de *Homo floresiensis*) y otros siete sobre diversas especies fósiles.

**Escasez de fondos:**

- Dificultad por parte de los taxónomos de venderse a sí mismos o de vender la importancia de su trabajo (Guerra-García *et al.*, 2008).
- Dificultad a la hora de gestionar proyectos o conseguir fondos de investigación (de Carvalho *et al.*, 2008; Wheeler, 2013).

**Complejidad de la beta taxonomía:**

- La baja tasa de publicación de los taxónomos (especialmente de revisiones monográficas, p. ej. Baselga *et al.*, 2010), en comparación con otras áreas.
- Se invierte mucho tiempo y esfuerzo y el resultado es una única publicación en una revista de bajo impacto.
- Existe un alto número de sinonimias las cuales desvirtúan en ocasiones la labor taxonómica (Alroy, 2002).
- Para muchos grupos hace falta una buena y completa Alfa taxonomía.

**Cambio generacional (senescencia, aislamiento y desaparición de los taxónomos clásicos):**

- Falta de taxónomos en grupos y proyectos de investigación multidisciplinarios.
- Existe una fuerte agregación biogeográfica en la distribución de los taxónomos a nivel mundial.
- Existe una importante brecha lingüística entre los trabajos antiguos y nuevos que en ocasiones afecta al trabajo de los taxónomos y causa que nuevos estudiantes interesados en la taxonomía pierdan la motivación.
- Existe muy poca interacción entre los taxónomos clásicos y los taxónomos modernos que utilizan herramientas moleculares.
- Muchos de los taxónomos tradicionales trabajan de manera aislada.
- Existe un profundo conflicto entre taxónomos aficionados y profesionales que no favorece el avance de la taxonomía. Adicionalmente, muchos de estos taxónomos no-profesionales que hicieron valiosos aportes han ido desapareciendo con el tiempo.
- Problemas de reemplazo generacional, ya que las nuevas generaciones de biólogos no están interesadas en formarse como taxónomos, no tienen docentes que los formen en estas áreas y/o no tienen apoyo económico. En términos generales, el promedio de edad de los científicos haciendo taxonomía ha aumentado en las últimas décadas (Claridge & Ingrouille, 1992), por lo que muchos de ellos están ya retirados del mundo académico o de los museos.
- Problemas en la distribución equilibrada de taxónomos en relación con los grupos hiperdiversos (Gaston & May, 1992) y las regiones biogeográficas con mayor diversidad en el mundo (Winston, 1988). Para muchos grupos taxonómicos, simplemente no existen taxónomos (Lee, 1978; Stuessy & Thompson, 1981; Edwards *et al.*, 1987; Scudder, 1987). Existen grupos que son más carismáticos que otros y esto influye en que los pocos biólogos interesados en hacer taxonomía se concentren en taxones como mamíferos, aves, reptiles, anfibios, algunos grupos puntuales como artrópodos (especialmente insectos) y algunas familias de plantas (por ejemplo orquídeas, bromelias, helechos), dejando de lado muchos otros grupos menos carismáticos.
- Los pocos nuevos estudiantes de biología interesados en taxonomía se forman en los mismos grupos taxonómicos en los que sus tutores llevan años trabajando.

Estos cuatro tipos de problemas se suman para dar lugar al más preocupante de todos ellos: el **cam-bio generacional**, que está relacionado con la senescencia, aislamiento y desaparición de las generaciones de taxónomos clásicos que están actualmente jubilados o en proceso de hacerlo, con un bajo reemplazo de nuevas generaciones de taxónomos capaces de realizar un trabajo de calidad (ver Tabla I). De hecho, una mirada crítica al recambio generacional en la taxonomía revela que la generación de taxónomos nacida al filo de la segunda mitad del siglo pasado, y formada en su mayor parte durante los años 70 y 80, se encuentra a punto de desaparecer sin dejar una escuela consolidada de taxónomos jóvenes que sean capaces de modernizar esta rama de la ciencia, excepto quizás en algunas naciones de elevada diversidad como Brasil, o en unas pocas instituciones científicas, como algunos museos de historia natural. No resulta pues exagerado decir que la Taxonomía se encuentra ante una encrucijada histórica.

Esta grave crisis contrasta con la fuerte presión social, gubernamental y científica hacia la actividad taxonómica, con el principal objetivo de describir con la mayor brevedad posible el mayor número de especies antes de su extinción, debido a la alta tasa de pérdida de hábitats (Godfray, 2002). La alta demanda de los usuarios de la taxonomía choca con la atención y el apoyo económico que recibe. En este contexto de una necesidad urgente de fomentar y generar más trabajo taxonómico resulta paradójica la falta de recursos humanos, institucionales y económicos para resolver esta tarea a la velocidad que se requiere. Inventariar la biodiversidad de manera (relativamente) rápida, robusta y efectiva está al alcance del nivel de desarrollo de la Taxonomía actual. Pero sólo si se cuenta con un nivel adecuado de inversión en taxónomos profesionales e infraestructura taxonómica, acompañados del desarrollo de herramientas bioinformáticas. Sin embargo, los grandes museos de Historia Natural están perdiendo gran parte de sus conservadores (*curators* o conservadores) (Funk, 2014). Esto redundaría en la pérdida de los profesionales dedicados a la Taxonomía beta de calidad, capaces de proporcionar una estructura taxonómica bien "curada" (es decir, homogénea, robusta y consistente). Por todo ello, la realidad de la Taxonomía del siglo XXI es que carece de recursos para inventariar la biota del planeta al ritmo necesario para catalogarla antes de la desaparición de buena parte de ella. Esta falta de recursos se agudiza en algunos países en vía de desarrollo, en donde las desigualdades como la falta de herramientas y equipos adecuados, la ausencia de soporte institucional y gubernamental, la carencia de personal calificado y las malas condiciones de las colecciones de historia natural son dramáticas.

Un efecto colateral de la disminución continua del número de taxónomos profesionales es el papel cada vez más relevante que juegan los taxónomos *amateurs* o, para ser más exactos, sin dedicación exclusiva. Esta preponderancia de taxónomos no profesionales no tendría necesariamente que suponer un problema para la calidad del conocimiento taxonómico, más allá de la precariedad de medios que la acompaña. Sin embargo, para ello es necesaria la existencia de una escuela sólida de Taxonomía *amateur* que se asegure de la calidad de la formación de dichos aficionados. Además, estos taxónomos sin dedicación exclusiva deben estar acompañados de un número suficiente de taxónomos beta que puedan aconsejarles, supervisando y revisando su trabajo para asegurarse de que las nuevas entidades descritas se incluyen en la jerarquía taxonómica de manera adecuada, proporcionando una Taxonomía estructurada y homogénea. Sin embargo, la realidad es que este apoyo o no existe o está en vías de desaparición, por lo que algunos taxónomos aficionados están dedicados de manera exclusiva a describir nuevas especies sin llegar a cuestionarse las relaciones evolutivas de los elementos con los que trabajan, haciendo una Taxonomía alfa deficiente. Además de entorpecer el trabajo de los beta taxónomos, esta aproximación de baja calidad genera una lectura negativa por parte de algunos sectores científicos, que con este tipo de trabajos ganan argumentos para continuar infravalorando la labor taxonómica. En este sentido, es necesario un mayor nivel de autocrítica por parte de los taxónomos acerca de su trabajo y el alcance del mismo, tanto a nivel del aficionado como de los revisores y editores de las revistas. Dentro de este marco de referencia, describir una especie es un acto de alta relevancia para la investigación, de la misma manera que lo es describir las relaciones de ese nuevo organismo con el resto de especies. Este punto es crítico, ya que con el estado actual del conocimiento, describir especies *per se*, sin generar un marco de relaciones con el resto de organismos, es una actividad que no tiene cabida en la Taxonomía del siglo XXI. La elaboración de descripciones taxonómicas deficientes e incompletas, publicadas en revistas de ámbito geográfico reducido y en idiomas no entendibles por una amplia mayoría, no debe convertirse en una puerta en la que se cuelen trabajos sin referencia a la sistemática del grupo. En este ámbito, los editores y comités editoriales de dichas revistas deben jugar un papel muy importante. De hecho, no deberían publicarse manuscritos que contengan descripciones de especies de calidad deficiente, sin una adecuada información sistemática y asociadas a una hipótesis bien fundamentada de las relaciones de parentesco del nuevo taxón con sus parientes más próximos. Sin embargo, la adopción de medidas encaminadas en este sentido, llevaría a la paradoja de retrasar la descripción de la biodiversidad que tanto urge.

A pesar de la existencia de malas prácticas, es importante no generalizar al conjunto de la taxonomía, ya que estas no son comunes, y son inexistentes, o casi, entre taxónomos profesionales. De hecho, es de resaltar la labor de una gran mayoría de excelentes taxónomos, que al dar un nombre a una especie están generando una sólida y rigurosa hipótesis preliminar acerca de su relación evolutiva con otros organismos (Valdecasas *et al.*, 2013). Si hemos resaltado esta problemática es porque permite caracterizar una de las necesidades actuales de la Taxonomía. Compensar la falta de taxónomos a costa de taxónomos aficionados puede tener un coste elevado en la calidad del conocimiento taxonómico, si no se acompaña de una supervisión eficiente de los taxónomos menos experimentados, y un trabajo de formación tanto de estudiantes como de aficionados que permita elevar el nivel de su trabajo. Esto podría combinarse con la creación de grupos o colaboraciones que incluyan beta taxónomos capaces de integrar y articular el nuevo conocimiento proporcionado por las descripciones de taxónomos menos experimentados en un contexto evolutivo que defina los límites e interacciones de las especies. Además, es importante clarificar que no todo aquel que describe una nueva especie tiene porqué ser en el fondo un taxónomo, o al menos no un taxónomo completo, a pesar de lo que proponen algunos autores (por ejemplo, Costello *et al.*, 2013b). Para ser un taxónomo integral se requiere trabajo constante, un completo manejo de la literatura, conocer a fondo la morfología, fisiología, etología, biogeografía y ecología de los organismos con los que se trabaja, cuestionarse de manera constante acerca de su diversidad y evolución y sin duda un innegable amor por el grupo taxonómico; solo así se es, de manera irrefutable, un taxónomo completo (Wheeler, 2013).

Una herramienta fundamental para solventar la crisis de la taxonomía es, pues, la clara necesidad de que este "nuevo taxónomo" se cuestione el porqué de la clasificación que genera de manera constante en un marco evolutivo. Como hemos mencionado anteriormente, es importante resaltar que en la actualidad sí tenemos excelentes taxónomos, pero muchos de ellos no pueden dedicarse a hacer trabajo taxonómico debido a la falta de oportunidades y plazas para hacer este trabajo, a la falta de reconoci-

miento institucional y/o académico y a la falta de becas y/o apoyo económico. Muchos jóvenes taxónomos están empeñados en seguir la visión moderna de esta ciencia. Sin embargo, y dada la magnitud y velocidad de la crisis de la biodiversidad, cabe preguntarse si tenemos el suficiente tiempo para que este tipo de nueva Taxonomía y de nuevos taxónomos alcancen a hacer su trabajo antes de que muchas de las especies existentes desaparezcan.

## Un futuro para la Taxonomía

Hace tan solo unas décadas era difícil imaginar el uso de tecnologías como el microscopio electrónico, la secuenciación de ADN o la computación cuántica. El ritmo de estos avances tecnológicos permite dejar volar la imaginación y visualizar un futuro, donde una herramienta básica en el maletín de campo de un biólogo consista en un pequeño aparato como el *tricoder* –basado en los dispositivos de mano de la serie *Star Trek*– donde una vez introducido un pequeño trozo de tejido sea posible secuenciar su ADN, mandarlo a una base de datos global y analizar su parecido con otras secuencias. En este escenario futuro, es imposible no preguntarse: ¿dónde queda el papel de la Taxonomía? Bajo esta predicción, algunas personas podrían afirmar que la Taxonomía alfa es una disciplina con fecha de caducidad. Sin embargo, incluso así, existe un aspecto inherente al pensamiento abstracto humano que seguiría haciendo que la Taxonomía fuera una herramienta indispensable. El pensamiento abstracto se caracteriza por la generación de conceptos e ideas a partir de simplificaciones de la realidad u otros conceptos (Langer, 1953) y está estrechamente ligado con el lenguaje (Bloom & Keil, 2001). Estas ideas pueden ir desde el concepto de “mosca de la fruta” hasta el concepto de “*Drosophila melanogaster* Meigen, 1830”. Es por ello, que aunque existieran supercomputadores capaces de almacenar y procesar el genoma completo de un individuo encontrado en campo y fueran capaces de decirnos con qué otros genomas está relacionado, sin el concepto de especie sería muy complicado interpretar esos resultados o relacionarlos con registros previos (generados por taxónomos) que tuviéramos sobre esa especie.

El incremento en la apreciación negativa del trabajo taxonómico en los últimos años hace que resulte imperante adoptar estrategias de valorización que permitan recuperar la percepción de la Taxonomía como un aspecto central de las ciencias naturales (Tabla II). En primer lugar, es necesario aumentar la visibilidad de las colecciones de historia natural y la Taxonomía tanto para el público general como para los gestores de programas científicos. Pero para solucionar algunos de estos problemas, y reivindicar las condiciones de trabajo del taxónomo, subsanando el deteriorado estatus de la taxonomía, es necesario explorar nuevas formas y estrategias de financiación y avanzar en una internacionalización real del conocimiento taxonómico. Esto puede gestionarse mediante la incorporación de tecnologías bioinformáticas que aumenten la presencia real de la taxonomía en iniciativas de *big data*, como mediante un corporativismo entre taxónomos de diferentes naciones, grupos biológicos e instituciones (Tabla II). Si los propios taxónomos no añaden un *bonus*, por pequeño que sea, a sus evaluaciones de proyectos e investigaciones, no podemos esperar que científicos de otras áreas lo hagan. A no ser que se genere una evaluación crítica de las necesidades de los centros de investigación, de los perfiles de los candidatos y un apoyo preferencial, cuando existan igualdad de condiciones en otros aspectos de un proceso de evaluación (como el currículum, la idoneidad del candidato o la excelencia del proyecto), el esfuerzo adicional de hacer trabajo taxonómico seguirá sin tener una compensación a la hora de conseguir contratos de trabajo, plazas de investigador o profesor de universidad o al momento de competir entre proyectos.

Si este corporativismo se acompaña con la incorporación de las tecnologías de la información y la bioinformática, como la iniciativa *ZooBank* (ver Tabla III), es posible revertir la situación de la Taxonomía en unas pocas décadas. En los últimos años, han aparecido interesantes iniciativas regionales, nacionales e internacionales que utilizan herramientas electrónicas para conectar a los taxónomos, difundir la información taxonómica que éstos producen y fomentar el acceso a dicha información a nivel global (Tabla III). Este tipo de estrategias, aunque muchas veces están más enfocadas al usuario que al taxónomo, cumplen una labor fundamental, no sólo de difusión del contenido taxonómico, sino también de formación, por lo que deben mantenerse, replicarse y difundirse en otras regiones a nivel mundial, teniendo mucho cuidado de no generar la falsa idea de que el trabajo taxonómico no tiene un valor económico asociado al ser gratis su acceso.

En términos generales, estamos convencidos de que la taxonomía clásica debe redefinirse, reestructurarse y renovarse, debe ser más plural y convertirse en una taxonomía integradora e incluyente, que genere estrategias transformadoras, utilice nuevas herramientas y busque soluciones novedosas a la necesidad apremiante de conocer la diversidad existente en el planeta (Padial *et al.*, 2010). Esta “nueva taxonomía” debe enfocar todos sus esfuerzos en resolver cuestiones evolutivas, integrando elementos y saberes de otras áreas como la ecología funcional, la biogeografía, la etología, la morfo-fisiología y la biología comparada (Brooks & McLennan, 1991), generando así nuevos y más completos niveles de conocimiento, una mayor visibilidad e impacto y, especialmente, aumentar el número de personas interesadas en esta disciplina científica. Además, es claro que la taxonomía moderna debe utilizar con más frecuencia herramientas moleculares, que requieren de una gran inversión en recursos humanos, tiempo, dinero y trabajo para evaluar y analizar los diferentes grupos taxonómicos. Sin embargo, es importante cuestionarse qué pasará con los países, grupos de investigación e investigadores que no tienen los conocimientos y/o los recursos económicos necesarios para hacer Taxonomía molecular. Resulta por lo tanto clave aumentar el grado de cooperación entre instituciones y naciones, e incluso la creación de fondos de investigación internacionales que permitan actualizar los laboratorios y entrenar a los taxónomos de los países en desarrollo, siguiendo esquemas semejantes a los del “capital semilla” (*seed money*) proporcionado por GBIF a proyectos que ayuden a colocar información de colecciones biológicas en internet.

**Tabla II. Ejemplos de estrategias corporativas para solucionar la crisis de la Taxonomía agrupados en la valorización del trabajo taxonómico, la obtención de nuevas fuentes de financiación y la internacionalización corporativa de la comunidad de taxónomos.**

**Valoración del trabajo taxonómico:**

- Hacer que las colecciones zoológicas y los herbarios sean instituciones más abiertas y dinámicas, con mejores herramientas tecnológicas, altos niveles de sistematización y especialmente dispuestas a jugar una importante labor en la formación de los futuros taxónomos.
- Identificar y publicitar el aporte al conocimiento que realizan los taxónomos.
- Generar labores de diseminación y socialización del conocimiento taxonómico.
- Generar reconocimientos por parte de los gobiernos de la importancia de la taxonomía en el desarrollo sostenible de los pueblos y sus implicaciones para una economía global en el marco de la Convención de la Diversidad Biológica (CBD).
- Contabilizar el impacto de la producción taxonómica, apuntando a la creación de herramientas para evaluar la actividad de los taxónomos.

**Generación de recursos económicos:**

- Establecer becas específicas para estudiantes de pregrado y postgrado interesados en estudiar taxonomía.
- Aumentar y mejorar los contratos de taxónomos en instituciones de investigación estatal y privadas, en colecciones y en museos.
- Formalizar convenios con aduanas, ministerios de alimentación, agricultura y medio ambiente y con instituciones nacionales e internacionales encargadas del manejo de la biodiversidad.
- Mejorar el estatus de las colecciones y buscar fondos para su mantenimiento.
- Generar y fomentar proyectos taxonómicos (revisiones y monografías) a escala local, regional, nacional y mundial.

**Gestión nacional e internacional de la comunidad taxonómica:**

- Fomentar la creación de convenios internacionales para el intercambio de información y movilidad de taxónomos entre regiones del mundo (p. ej. programa *Synthesis* en Europa).
- Generar redes taxonómicas nacionales e internacionales en regiones biodiversas (*hotspots* y trópicos) que interactúen con otras redes a nivel mundial.
- Aumentar la interacción académica entre la taxonomía y otros campos de investigación, especialmente en el caso de grupos que no tengan acceso a ciencias aplicadas que usan técnicas modernas.
- Crear, mejorar y mantener económicamente nuevas estrategias de gestión e intercambio de especímenes y de información a nivel nacional e internacional entre colecciones de museos de historia natural y otras instituciones.
- Multiplicar las experiencias locales como la Iniciativa Taxonómica de Suecia (STI, iniciativa que nació en el 2001 y que se propuso completar el inventario de las especies existentes en el país en un plazo de 20 años. Esta iniciativa ha fomentado la creación de cátedras de taxonomía, impulsado proyectos de *barcoding* y ha otorgado becas para estudios taxonómicos) en otros países (Polaszek 2010).
- Fortalecer la formación de sistemáticos con perfiles mucho más novedosos y completos, logrando integrar diferentes disciplinas, con un buen conocimiento en los diferentes niveles de la taxonomía, técnicas moleculares y habilidades bioinformáticas (Contreras-Ramos & Goyenechea 2007).
- Fomentar la contextualización de las preguntas taxonómicas en un marco de análisis más evolutivo.
- Definir, integrar y estimular la labor de los taxónomos aficionados y la retribución de su trabajo (premios, actividades, asociaciones, reconocimientos, etc.).

**Tabla III. Iniciativas nacionales e internacionales que pretenden interconectar el trabajo de los taxónomos mediante la creación de redes de colaboración e infraestructura digital, integrando la información taxonómica de manera que sea accesible para otros investigadores, gestores ambientales y el público en general.**

*Atlas of Living Australia* ([www.ala.org.au](http://www.ala.org.au))  
CATE (Creating a taxonomic e-science – [www.tdwg.org](http://www.tdwg.org))  
*Diversitas* ([www.diversitas-international.org](http://www.diversitas-international.org))  
*Encyclopedia of Life* ([www.eol.org](http://www.eol.org))  
*Fauna Europaea* ([www.faunaeur.org](http://www.faunaeur.org))  
*Global Biodiversity Information Facility* ([www.gbif.org](http://www.gbif.org))  
*Global Taxonomy Initiative* ([www.cbd.int/gti](http://www.cbd.int/gti))  
*Integrated Taxonomic Information System* ([www.itis.usda.gov](http://www.itis.usda.gov))  
*Map of Life* ([www.mol.org](http://www.mol.org))  
*Planetary Biodiversity Inventories* ([www.nsf.gov](http://www.nsf.gov))  
*SILVA All-species project* ([www.arb-silva.de](http://www.arb-silva.de))  
*Species 2000* ([www.sp2000.org](http://www.sp2000.org))  
*The International Plant Names Index* ([www.ipni.org](http://www.ipni.org))  
*The Plant List* ([www.theplantlist.org](http://www.theplantlist.org))  
*Tree of Life* ([www.tolweb.org](http://www.tolweb.org))  
ZooBank ([www.zoobank.org](http://www.zoobank.org))

Sin duda alguna, la taxonomía del siglo XXI debe estar estrechamente interrelacionada con estrategias y planes de conservación. Es fundamental que los nuevos taxónomos entiendan que la Taxonomía debe migrar de una ciencia de inventarios y descripción de nuevas especies, hacia una ciencia más analítica, holística y evolutiva donde se integren elementos comparativos que generen revisiones más completas. Esto no significa que deban abandonarse las descripciones de nuevos taxones, pero sí debe transformarse el fin último de este trabajo, que debe ser la construcción de una visión más global que incluya la relación entre las especies con preguntas que sean cada vez más complejas e integradoras.

Igualmente, este “nuevo taxónomo” debe cuestionarse los límites de lo que considera es una especie e incluir dentro de su análisis un componente evolutivo integrador, teniendo en cuenta que al nombrar una especie está generando una hipótesis acerca de sus relaciones evolutivas con otras especies (Valdecasas *et al.*, 2013). Si este taxónomo no genera una transformación y un cambio generacional estaría retrocediendo y cayendo en una taxonomía primitiva, meramente descriptiva, que según nuestro análisis debe renovarse. En muchos países, centros de investigación e institutos este cambio ya está en marcha, se está generando una Taxonomía mucho más integradora, moderna, con más información y análisis autocrítico, sin embargo la percepción negativa de algunos sectores se mantiene y el concepto de un “área obsoleta” se mantiene, por lo que debe realizarse una labor mucho más compleja de cambio de mentalidades. Finalmente, es fundamental entender qué parte de la supervivencia de nuestra especie y la conservación de nuestro planeta depende de manera estrecha de nuestra capacidad de conocer, comprender y valorar la diversidad biológica que nos rodea; es en este importante proceso en el que una taxonomía renovada y las generaciones presentes y futuras de nuevos taxónomos deben jugar un papel decisivo.

## Agradecimiento

Noemí Guil realizó valiosos aportes y comentarios a diferentes versiones del manuscrito, mejorando la calidad del mismo. AMCS ha sido financiada por un contrato Marie Curie (Intra-European Fellowship - IEF 331623 ‘COMMSTRUCT’), JAN ha tenido el soporte de una beca de COLCIENCIAS (Colombia), VRE ha tenido el soporte de una beca del SENESCYT (Ecuador) y JH disfruta de un contrato Ramón y Cajal financiado por la DGCyT.

## Literatura citada

- ALBERCH, P. 1993. Museums, collections and biodiversity inventories. *Trends in Ecology & Evolution*, **8**(10): 372-375.
- ALROY, J. 2002. How many named species are valid? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **99**: 3706-3711.
- ARBELÁEZ-CORTES, E. 2013. Describiendo especies: Un panorama de la biodiversidad Colombiana en el ámbito mundial. *Acta Biológica Colombiana*, **18**(1): 165-178.
- BASELGA, A., J.M. LOBO, J. HORTAL, A. JIMÉNEZ-VALVERDE & J.F. GÓMEZ 2010. Assessing *alpha* and *beta* taxonomy in Eupelmid wasps: Determinants of the probability of describing good species and synonyms. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, **48**: 40-49.
- BLOOM, P. & F.C. KEIL 2001. Thinking through language. *Mind & Language*, **16**(4): 351-367.
- BORTOLUS, A. 2008. Error cascades in the biological sciences: The unwanted consequences of using bad taxonomy in ecology. *AMBIO*, **37**: 114-118.
- BRADLEY, R.D., L.C. BRADLEY, H.J. GARNER & R.J. BAKER 2014. Assessing the value of natural history collections and addressing issues regarding long-term growth and care. *BioScience*, **64**(12): 1150-1158.
- BROOKS, D.R. & D.A. McLENNAN 1991. *Phylogeny, Ecology and Behavior. A research program in comparative biology*. Chicago, University of Chicago Press. 434 pp.
- CHAPMAN, A.D. 2009. *Numbers of living species in Australia and the World*. Australian Government, Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts. Canberra, Australian Biological Resources Study. 80 pp.
- CHEVALIER, J., J. CRACRAFT, F. GRIFO & C. MEINE 1997. *Biodiversity, science and the human prospect*. Center for Biodiversity and Conservation. American Museum of Natural History. New York. 30 pp.
- CLARIDGE, M. & F.M. INGROUILLE. 1992. Systematic biology and higher education in the U.K. Pp. 23-31. In: D.L. Hawksworth (Ed.). *Improving the stability of names: needs and options*. Taunus, Germany, Koeltz Scientific Books. 358 pp.
- CONTRERAS-RAMOS, A. & I. GOYENCHEA 2007. *La sistemática, base del conocimiento de la Biodiversidad*. Hidalgo, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. 22 pp.
- COSTELLO, M.J., S. WILSON & B. HOULDING 2012. Predicting total global species richness using rates of species description and estimates of taxonomic effort. *Systematic Biology*, **61**: 871-883.
- COSTELLO, M.J., R.M. MAY & N.E. STORK 2013a. Can we name Earth's species before they go extinct? *Science*, **339**: 413-415.
- COSTELLO, M.J., S. WILSON & B. HOULDING 2013b. More taxonomists describing significantly fewer species per unit effort may indicate that most species have been discovered. *Systematic Biology*, **62**: 616-624.

- COSTELLO, M.J., B. HOULDING & S. WILSON 2014. As in other taxa, relatively fewer beetles are being described by an increasing number of authors: response to Löbl and Leschen. *Systematic Entomology*, **39**: 395-399.
- CRACRAFT, J. 2002. The seven great questions of systematic biology: an essential foundation for conservation and the sustainable use of biodiversity. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, **89**: 127-144.
- DAYRAT B. 2005. Towards integrative taxonomy. *Biological Journal of the Linnean Society*, **85**: 407-415.
- DETEL, W. 1999. Aristotle on Zoological Explanation. *Philosophical Topics*, **25**: 43-68.
- DE CARVALHO, M.R., F.A. BOCKMANN, D.S. AMORIM, M. DE VIVO, M. DE TOLEDO-PIZA, N.A. MENEZES, J.L. DE FIGUEIREDO, R.M.C. CASTRO, A.C. GILL, J.D. MCEACHRAN, L.J.V. COMPAGNO, R.C. SCHELLY, R. BRITO, J.G. LUNDBERG, R.P. VARI & G. NELSON 2005. Revisiting the taxonomic impediment. *Science*, **307**(5708): 353.
- DE CARVALHO, M.R., F.A. BOCKMANN, D.S. AMORIM, C.R.F. BRANDÃO, M. DE VIVO, J.L. DE FIGUEIREDO, H.A. BRITSKI, M.C.C. DE PINNA, N.A. MENEZES, F.P.L. MARQUES, N. PAPAYERO, E.M. CANCELLO, J.V. CRISCI, J.D. MCEACHRAN, R.C. SCHELLY, J.G. LUNDBERG, A.C. GILL, R. BRITO, Q.D. WHEELER, M.L.J. STIASSNY, L.R. PARENTI, L.M. PAGE, W.C. WHEELER, J. FAIVOVICH, R.P. VARI, L. GRANDE, C.J. HUMPHRIES, R. DESALLE, M.C. EBACH & G.J. NELSON 2007. Taxonomic impediment or impediment to taxonomy? A commentary on systematics and the Cybertaxonomic-Automation Paradigm. *Evolutionary Biology*, **34**: 140-143.
- DE CARVALHO, M.R., F.A. BOCKMANN, D.S. AMORIM & C.R.F. BRANDÃO 2008. Systematics must embrace comparative biology and evolution, not speed and automation. *Journal of Evolutionary Biology*, **35**: 1-8.
- DE CARVALHO, M.R., M.C. EBACH, D.M. WILLIAMS, S.S. NIHEI, M. TREFAUT-RODRIGUES, T. GRANT, L.F. SILVEIRA, H. ZAHER, A.C. GILL, R.C. SCHELLY, J.S. SPARKS, F.A. BOCKMANN, B. SÉRET, H.C. HO, L. GRANDE, O. RIEPPEL, A. DUBOIS, A. OHLER, J. FAIVOVICH, L.C.S. ASSIS, Q. WHEELER, P.Z. GOLDSTEIN, E.A.B. DE ALMEIDA, A.G. VALDECASAS & G. NELSON 2014. Does counting species count as taxonomy? On misrepresenting systematics, yet again. *Cladistics*, **30**: 322-329.
- DELUCCHI, V., D.E. ROSEN & E.I. SCHLINGER 1976. Relationship of systematics to biological control. Pp. 81-91. In: Huffaker, C.B. & P.S. Messenger (Eds.). *Theory and practice of biological control*. Academic Press, New York. 810 pp.
- DÍAZ, S., A. PURVIS, J.H.C. CORNELISSEN, G.M. MACE, M.J. DONOGHUE, R.M. EWERS, P. JORDANO & W.D. PEARSE 2013. Functional traits, the phylogeny of function, and ecosystem service vulnerability. *Ecology and Evolution*, **3**: 2958-2975.
- DRAKE, J.A., H.A. MOONEY, F. DI CASTRI, R.H. GROVES, R.H. KRUGER, F.J. REJMANEK & M. WILLIAMSON 1989. *Biological invasions: A global perspective*. Wiley, New York, USA. 525 pp.
- EDWARDS, S.R., G.M. DAVIS & L.I. NEVLING 1987. *The systematics community*. Lawrence, Kans, Association of Systematics Collections. 275 pp.
- ERWIN, T.L. 1982. Tropical forests: Their richness in Coleoptera and other arthropod species. *The Coleopterist Bulletin*, **36**: 74-75.
- ERWIN, T.L. 1988. The tropical forest canopy: The heart of biotic diversity. Pp. 123-129. In: E.O. Wilson (Ed.). *Biodiversity*. Washington, D.C. National Academy Press. 535 pp.
- EVENHUIS, N.L. 2007. Helping to solve the "other" taxonomic impediment: Completing the eight steps to total enlightenment and taxonomic nirvana. *Zootaxa*, **1407**: 3-12.
- FONTAINE, B., K. VAN ACHTERBERG, M.A. ALONSO-ZARAZAGA, R.A.M. ASCHE, H. ASPÖCK, U. ASPÖCK, P. AUDISIO, B. AUKEMA, N. BAILLY, M. BALSAMO, R.A. BANK, C. BELFIORE, W. BOGDANOWICZ, G. BOXSHALL, D. BURCKHARDT, P. CHYLARECKI, L. DEHARVENG, A. DUBOIS, H. ENGHOFF, R. FOCETTI, C. FONTAINE, O. GARGOMINY, M.S. LOPEZ, D. GOUJET, M.S. HARVEY, K.G. HELLER, P. VAN HELSDINGEN, H. HOCH, Y. DE JONG, O. KARSHOLT, W. LOS, W. MAGOWSKI, J.A. MASSARD, S.J. MCINNES, L.F. MENDES, E. MEY, V. MICHELSEN, A. MINELLI, J.M.N. NAFRIA, E.J. VAN NIEUKERKEN, T. PAPE, W. DE PRINS, M. RAMOS, C. RICCI, C. ROSELAAR, E. ROTA, H. SEGERS, T. TIMM, J. VAN TOL & P. BOUCHET 2012. New species in the Old World: Europe as a frontier in biodiversity exploration, a test bed for 21st century taxonomy. *PLoS One*, **7**(5): e36881.
- FRANZ, N.M., R.K. PEET & A.S. WEAKLEY 2008. On the use of taxonomic concepts in support of biodiversity research and taxonomy. Pp. 63-86. In: Wheeler, Q.D. (Ed.), *The new taxonomy*. The Systematics Association Special Volume Series 76, CSC Press, ION.
- FUNK, V.A. 2014. A curator's perspective. The erosion of collections-based science: Alarming trend or coincidence? *The Plant Press, New series*, **17**: 1, 13-15.
- GARCÍA-LÓPEZ, A., E. MICÓ & E. GALANTE 2012. From lowlands to highlands: Searching for elevational patterns of species richness and distribution of scarab beetles in Costa Rica. *Diversity and Distributions*, **18**(6): 543-553.
- GARCÍA-VÁZQUEZ, E., J.L. HORREO, D. CAMPO, G. MACHADO-SCHIAFFINO, I. BISTA, A. TRIANTAFYLIDIS & F. JUANES 2009. Mislabelling of commercial North American hakes suggests underreported exploitation of *Merluccius albidus*. *Transactions of the American Fisheries Society*, **138**: 790-796.
- GASTON, K.J. & R.M. MAY 1992. Taxonomy of taxonomists. *Nature*, **356**: 281-282.
- GIRIBET, G. 2015. Morphology should not be forgotten in the era of genomics—a phylogenetic perspective. *Zoologischer Anzeiger*. en prensa, doi:10.1016/j.jcz.2015.01.003
- GÓMEZ, J.M. & F. PERFECTI 2012. Fitness consequences of centrality in mutualistic individual-based networks. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **279**(1734): 1754-1760.
- GORDH, G. & J.W. BEARDSLEY 1999. Taxonomy and biological control. Pp. 45-55. In: Fisher, T., T.S. Bellows, L.E. Caltagirone, D.L. Dahlsten, C. Huffaker & G. Gordh (Eds.). *Handbook of biological control: Principles and applications of biological control*. Academic Press. 1046 pp.

- GRASSLE, J.F. 1991. Deep-sea benthic biodiversity. *BioScience*, **41**: 464-469.
- GROOMBRIDGE, B. 1992. *Global biodiversity. Status of the Earth's living resources*. A report compiled by the World Conservation Monitoring Centre. London: Chapman & Hall. 585 pp.
- GUERRA-GARCÍA, J.M., F. ESPINOSA & J.C. GARCÍA-GÓMEZ 2008. Trends in taxonomy today: an overview about the main topics in taxonomy. *Zoologica Baetica*, **19**: 15-49.
- GODFRAY, H.C.J. 2002. Challenges for taxonomy. *Nature*, **417**: 17-19.
- GODFRAY, H.C.J. 2007. Linnaeus in the information age. *Nature*, **446**: 259-260
- HAWKSWORTH, D.L. 1991. The fungal dimension of biodiversity: Magnitude, significance and conservation. *Mycological Research*, **95**: 641-655.
- HEBERT, P.D.N. & T.R. GREGORY 2005. The promise of DNA barcoding for taxonomy. *Systematic Biology*, **54**: 852-859.
- HEBERT, P.D.N., A. CYWINSKA, S.L. BALL & J.R. DE WAARD 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society of London Series B*, **270**: 313-321.
- HELGEN, K., M. PINTO, R. KAYS, L. HELGEN, M. TSUCHIYA, A. QUINN, D. WILSON & J. MALDONADO 2013. Taxonomic revision of the olingos (*Bassaricyon*), with description of a new species, the Olinguito. *ZooKeys*, **324**: 1-83. Accesible (2014) en: <http://zookeys.pensoft.net/articles.php?id=3550>
- HOLLINSWORTH, P.M. & CBOL PLANT WORKING GROUP 2009. A DNA barcode for land plants. *PNAS*, **106**(31): 12794-12797.
- HORREO, J.L. 2012. "Representative genes", is it OK to use a small amount of data to obtain a phylogeny that is at least close to the true tree?. *Journal of Evolutionary Biology*, **25**: 2661-2664.
- HORREO, J.L., A. ARDURA, I.G. POLA, J.L. MARTÍNEZ & E. GARCÍA-VÁZQUEZ 2011. Universal primers for species authentication of animal foodstuff in a single polymerase chain reaction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **93**: 354-361.
- HORTAL, J. 2008. Uncertainty and the measurement of terrestrial biodiversity gradients. *Journal of Biogeography*, **35**: 1355-1356.
- HORTAL, J., N. ROURA-PASCUAL, N.J. SANDERS & C. RAHBEK 2010. Understanding (insect) species distributions across spatial scales. *Ecography*, **33**: 51-53.
- IRIONDO, J.M. 2000. Taxonomía y conservación: dos aproximaciones a un mismo dilema. *Portugaliae Acta Biologica*, **19**: 1-7.
- JAMES, A., J.W. PITCHFORD & M.J. PLANK 2012. Disentangling nestedness from models of ecological complexity. *Nature*, **487**(7406): 227-230.
- KISSLING, W.D. & M. SCHLEUNING 2014. Multispecies interactions across trophic levels at macroscales: Retrospective and future directions. *Ecography*, doi: 10.1111/ecog.00819.
- KRESS, W.J., K.J. WURDACK, E.A. ZIMMER, L.A. WEIGT & D.H. JANZEN 2005. Use of DNA barcodes to identify flowering plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **102**(23): 8369-74.
- LANGER, S.K. 1953. *Feeling and form: A theory of art developed from philosophy in a new key*. Charles Scribner's Sons, New York. 431 pp.
- LEE, W.L. 1978. Resources in invertebrate systematics, Part I. *American Zoology*, **18**: 167-185.
- LEVINE, J.M., M. VILÀ, C.M. D'ANTONIO, J.S. DUKES, K. GRIGULIS & S. LAVOREL 2003. Mechanisms underlying the impact of exotic plant invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Serie B*, **270**: 775-781.
- LINCOLN, R., G. BOXSHALL & P. CLARK 1998. *A dictionary of ecology, evolution and systematics* (2nd ed.). Cambridge, Cambridge University of Press. 371 pp.
- LINNEO, C. 1735. *Systema Naturae, sive regna tria naturae, systematics proposita pers clases, ordines, genera & species*. Leiden: Theodorum Haak.
- LOZIER, J.D., P. ANIELLO & M.J. HICKERSON 2009. Predicting the distribution of Sasquatch in western North America: anything goes with ecological niche modelling. *Journal of Biogeography*, **36**: 1623-1627.
- LYAL, C., P. KIRK, D. SMITH & R. SMITH 2008. El valor de la taxonomía para la biodiversidad y la agricultura. *Biodiversity*, **9**(1-2): 8-13.
- MAY, R.M. 1988. How many species are there on Earth? *Science*, **241**: 1441-1449.
- MAY, R.M. 2011. Why worry about How many species and their loss? *PLoS Biol*, **9**(8): e1001130.
- MAYR, E. 1969. *Principles of systematic zoology*. McGraw-Hill Book Company, New York. 428 pp.
- MAYR, E., E.G. LINSLEY & R.I. USINGER 1953. *Methods and principles of systematic zoology*. New York, McGraw-Hill. 328 pp.
- MAGURRAN, A.E. 2004. *Measuring biological diversity*. Oxford, Blackwell Science. 256 pp.
- MLAMBO, M. 2014. Not all traits are 'functional': Insights from taxonomy and biodiversity-ecosystem functioning research. *Biodiversity and Conservation*, **23**: 781-790.
- MORA, C., D.P. TITTENSOR, S. ADL, A.G.B. SIMPSON & B. WORM 2011. How many species are there on Earth and in the Ocean? *PLoS Biol*, **9**(8): e1001127.
- MORENO, C. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. Volumen 1, M&T Manuales y Tesis SEA. Zaragoza, España. 83 pp. Accesible (2014) en: <http://www.sea-entomologia.org/PDF/M&TSEA01.pdf>
- NILSSON, R.H., M. RYBERG, E. KRISTIANSSON, K. ABARENKOV, K.H. LARSSON & U. KÖLJALG 2006. Taxonomic reliability of DNA sequences in public sequence databases: a fungal perspective. *PLoS One*, **1**: e59.
- NOVACEK, M.J. 1992. The meaning of systematics and the biodiversity crisis. Pp. 101-108. In: N. Eldredge (Ed.). *Systematics, ecology and the biodiversity crisis*. New York, Columbia University Press. 220 pp.
- OLIVER, I. & A.J. BEATTIE 1996. Invertebrate morphospecies as surrogates for species: A case study. *Conservation Biology*, **10**: 99-109.
- PADIAL, J.M., A. MIRALLES, I. DE LA RIVA & M. VENCES 2010. The integrative future of taxonomy. *Frontiers in Zoology*, **7**: 1-14.

- PASARI, J.R., T. LEVI, E.S. ZAVALA & D. TILMAN 2013. Several scales of biodiversity affect ecosystem multi-functionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **110**: 10219-10222.
- PÉREZ-HARGUINDEGUY, N., S. DÍAZ, E. GARNIER, S. LAVOREL, H. POORTER, P. JAUREGUIBERRY, M.S. BRET-HARTE, W.K. CORNWELL, J.M. CRAINE, D.E. GURVICH, C. URCELAY, E.J. VENEKLAAS, P.B. REICH, L. POORTER, I.J. WRIGHT, P. RAY, L. ENRICO, J.G. PAUSAS, A.C. DE VOS, N. BUCHMANN, G. FUNES, F. QUÉTIER, J.G. HODGSON, K. THOMPSON, H.D. MORGAN, H. TER STEEGE, M.G.A. VAN DER HEIJDEN, L. SACK, B. BLONDER, P. POSCHLOD, M.V. VAIERETTI, G. CONTI, A.C. STAVAR, S. AQUINO & J.H.C. CORNELISSEN 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, **61**: 167-234.
- PFEIFFER M. & D. MEZGER 2012. Biodiversity assessment in incomplete inventories: leaf litter ant communities in several types of Bornean rain forest. *PLoS ONE*, **7**: e40729.
- PICARD, N., P. KÖHLER, F. MORTIER & S. GOURLET-FLEURY 2012. A comparison of five classifications of species into functional groups in tropical forests of French Guiana. *Ecological Complexity*, **11**: 75-83.
- PLATNICK, N.I. 1978. Gaps and prediction in classification. *Systematic Zoology*, **27**: 472-474.
- POLASZEK, A. 2010. *Systema Naturae 250 – The Linnaean Ark*. CRC Press, Taylor & Francis Group, NW. 300 pp.
- POLIS, G.A. 1991. Complex Trophic Interactions in Deserts - an Empirical Critique of Food-Web Theory. *American Naturalist*, **138**(1): 123-155.
- POISOT, T., D.B. STOUFFER & D. GRAVEL 2014. Beyond species: Why ecological interactions vary through space and time. *bioRxiv*, doi: 10.1101/001677.
- PURVIS, A. & A. HECTOR 2000. Getting the measure of biodiversity. *Nature*, **405**: 212-219.
- RATNASINGHAM, S. & P.D.N. HEBERT 2007. bold: The Barcode of Life Data System. *Molecular Ecology Notes*, **7**: 355-364. Accesible (2014) en: <http://www.barcodinglife.org>
- RAVEN, P.H. 2004. Taxonomy: Where are we now? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Serie B*, **359**: 729-730.
- RIDDLE, B.R. & D.J. HAFNER 1999. Species as units of analysis in ecology and biogeography: time to take the blinders off. *Global Ecology and Biogeography*, **8**: 433-441.
- ROSKOV Y., T. KUNZE, T. ORRELL, L. ABUCAY, L. PAGLIANAWAN, A. CULHAM, N. BAILLY, P. KIRK, T. BOURGOIN, G. BAILLARGEON, W. DECOCK, A. DE WEVER & V. DIDZIULIS 2014. *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2014 Annual Checklist*. Accesible (2014) en: [www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2014](http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2014)
- SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ D., J.M. LOBO, P. ABELLÁN, I. RIBERA & A. MILLAN 2008. Bias in freshwater biodiversity sampling: the case of Iberian water beetles. *Diversity and Distributions*, **14**: 754-762.
- SANTOS, A.M.C., G. BESNARD & D.L.J. QUICKE 2011. Applying DNA barcoding for the study of geographical variation in host-parasitoid interactions. *Molecular Ecology Resources*, **11**: 46-59.
- SCHROCK, J.R. 1989. Pre-graduate education in systematics and organismic biology. *Association of Systematics Collections Newsletter*, **17**: 53-55.
- SCHWEITZER, C.E. 2008. Paleontological systematics in the 21st century: We need more specialists and more data. *Paleontologia Electronica*, **11**(2): 4E. Accesible (2014) en: [http://palaeo-electronica.org/2008\\_2/commentary/systematics.pdf](http://palaeo-electronica.org/2008_2/commentary/systematics.pdf)
- SCUDDER, G.G.E. 1987. The next 25 years: Invertebrate systematics. *Canadian Journal of Zoology*, **65**: 786-787.
- SIMPSON, G.G. 1961. *Principles of animal taxonomy*. Columbia University Press, New York. 247 pp.
- STATE OF OBSERVED SPECIES (SOS). 2012. *A decade of species discovery in review*. Retro SOS 2000-2009. International Institute for Species Exploration, Arizona State University. Accesible (2014) en: <http://species.asu.edu/SOS>
- STEVENS, G.C. 1992. The elevational gradient in altitudinal range: An extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *The American Naturalist*, **140**(6): 893-911.
- STOUTHAMER, R., P. JOICHEMSEN, G.R. PLATNER & J.D. PINTO 2000. Crossing incompatibility between *Trichogramma minutum* and *T. platneri*: implications for their application in biological control. *Environmental Entomology*, **29**(4): 832-837.
- STUESSY, T.F. & K.S. THOMPSON 1981. *Trends, priorities, and needs in systematic biology*. A report to the systematic biology program of the National Science Foundation Lawrence, Kans, Association of Systematic Collections. 51 pp.
- THE HOUSE OF LORDS. 2008. *Systematics and taxonomy: Follow-up*. Science and Technology Committee, 5th Report of Session 2007-08. The Stationery Office, London, UK. 330 pp.
- TRIANAFYLIDIS, A., N. KARAIKOU, J. PÉREZ, J.L. MARTÍNEZ, A. ROCA, B. LÓPEZ & E. GARCÍA-VÁZQUEZ 2010. Fish allergy risk derived from ambiguous vernacular fish names: forensic DNA-based detection in Greek markets. *Food Research International*, **43**(8): 2214-2216.
- VALDECASAS, A.G., M.L. PELÁEZ & Q.D. WHEELER 2013. What's in a (biological) name? The Wrath of Lord Rutherford. *Cladistics*, **30**(2): 215-223.
- VENN, S., C. PICKERING & K. GREEN 2012. Short-term variation in species richness across an altitudinal gradient of alpine summits. *Biodiversity and Conservation*, **21**: 3157-3186.
- VILÀ, M., S. BACHER, P. HULME, M. KENIS, M. KOBELT, W. NENTWIG, D. SOL & W. SOLARZ 2006. Impactos ecológicos de las invasiones de plantas y vertebrados terrestres en Europa. *Ecosistemas*, **15**(2): 13-23.
- VIOLLE, C., M.L. NAVAS, D. VILE, E. KAZAKOU, C. FORTUNEL, I. HUMMEL & E. GARNIER 2014. Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, **116**: 882-892.
- WHEELER, Q.D. 2008. Introductory. Toward the new taxonomy. Pp. 1-17. In: Wheeler, Q.D. (Ed.): *The new taxonomy*. The Systematics Association Special Volume Series 76, CSC Press. 256 pp.

- WHEELER, Q. 2013. Are reports of the death of taxonomy an exaggeration? *New Phytologist*, **201**: 370-371.
- WHEELER, Q., P.H. RAVEN & E.O. WILSON 2004. Taxonomy: impediment or expedient? *Science*, **303**: 285.
- WINSTON, J.E. 1988. The systematists' perspective. *Memoirs of the California Academy of Science*, **13**: 1-16.
- WINSTON, J.E. 1999. *Describing species. Practical taxonomic procedure for biologists*. New York, Columbia University Press. 518 pp.
- WILSON, E.O. 1985. Time to revive systematics. *Science*, **230**: 1227.
- WILSON, E.O. 1992. *La diversidad de la vida*. Grupo Grijalbo-Mondadori, Barcelona. 410 pp.
- WILSON, E.O. 2003. The encyclopedia of life. *Trends in Ecology & Evolution*, **18**(2): 77-80.
- ZAMORANO, P. 2014. Evaluación sobre la cantidad y procedencia de especies nuevas de animales, plantas y hongos descritas en el año 2012. *Anales de Biología*, **36**: 47-54.