

EL RETO TAXONÓMICO DE LA BIODIVERSIDAD EN MÉXICO

Salazar-Vallejo, S.I.*, N.E. González, J. Barrientos-Villalobos, R.A.
Carbajal-Márquez y J.J. Schmitter-Soto





Palabras clave: *insuficiencia taxonómica, número de especies, plan nacional, entrenamiento, plazas para taxónomos.*



La crisis de la taxonomía es un mero síntoma de un sistema científico que da más valor a lo inmediato, mediático y aplicado que al conocimiento per se, castrando los valores innatos de que ha hecho gala nuestra actividad durante siglos.

Juan José Ibáñez, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España

RESUMEN

Las estimaciones más recientes sobre el número de especies planetarias son realmente abrumadoras porque puede haber 1-6 mil millones de especies incluyendo bacterias y organismos más complejos (plantas y animales), y porque nuestra tradición taxonómica que ronda tres siglos, apenas ha provisto nombres para dos millones de especies. El reto parece insuperable. Por los costos de entrenamiento y por el número de estudiantes, países como Brasil y México tienen una ventaja sobre naciones más industrializadas y han alcanzado resultados muy importantes, por lo que tenemos un compromiso con el planeta. Proponemos que, desde el marco referencial de su vasta biodiversidad, y de la mano del talento y pasión de sus investigadores y estudiantes, se consolide nuestra tradición en un plan nacional para el conocimiento de la biodiversidad. La propuesta debe ser colectiva, respaldada por sociedades científicas, universidades y centros de investigación, y han de combinarse entrenamientos formales con la disponibilidad de plazas, de manera que se incremente el número de taxónomos profesionales. Harán falta definir grupos prioritarios por el nivel de ignorancia, por el número de especies estimadas, por su relevancia ecológica o económica, y con atención a la tradición formalizada en nuestras instituciones. Una vez definidas las necesidades, se requerirán gestiones correspondientes con los tomadores de decisiones, sean curadores o responsables de grupos de investigación, directores de escuelas, rectores, directores de centros, o mesas directivas de sociedades científicas. El reto es muy grande y la propuesta debe ser acorde a las necesidades definidas, a pesar del panorama negativo del financiamiento para la educación superior e investigación científica.

BIODIVERSIDAD

La variedad de especies, su estructura genética, y las interacciones entre ellas en un sitio concreto o a nivel de paisaje para formar sistemas ecológicos conforman la biodiversidad (Noss, 1990; Salazar-Vallejo y González, 1993). El desarrollo de las poblaciones humanas, a partir de la agricultura y el establecimiento de los centros urbanos, ha ocasionado impactos sobre la naturalidad del paisaje. Dichos efectos han sido intensificados con la industrialización y las actividades extractivas necesarias para satisfacer las necesidades de casi 8 mil millones de personas. Además, de la mano del sistema de producción basado en una economía lineal (extracción de recursos-producir-usar y desechar) en contraposición con una economía circular (extracción o reúso de recursos-producir-usar-reciclar) (Hass et al., 2015), han tenido un efecto devastador sobre las especies y sobre el paisaje. La situación es tan crítica que confrontamos la sexta extinción masiva (Barnosky et al., 2011); a diferencia de las precedentes, esta ha sido generada por nuestras acciones. La magnitud e intensidad de la defaunación marina y continental ocurre con gran rapidez y nosotros somos la causa (Dirzo et al., 2014; McCauley et al., 2015). Tan es así que Steffen et al. (2016) propusieron una nueva época posterior al Holoceno y la han denominado el Antropoceno.

La situación no es promisorio porque la capacidad de carga del planeta parece haber sido rebasada desde finales de los años 70 (Wackernagel et al., 2002). Además, en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés), más de 16,000 especies están bajo alguna categoría de riesgo, pero tras haber evaluado un 5% de la biodiversidad planetaria. Recientes estimaciones basadas en las listas de la IUCN calculan una tasa de extinción 6500 veces mayor que la tasa de extinción natural y que las poblaciones del 32% de las especies de vertebrados están disminuyendo (Ceballos et al., 2017). Además, Hamblen y Speight (1996) calcularon que se extingue una especie de invertebrado no marino cada año en el Reino Unido y 20 años después, la situación es mucho más dramática (McCauley et al., 2015), especialmente en los organismos de mayor tamaño (Payne et al., 2016).

El término biodiversidad se popularizó a fines de los 1980 por el libro editado por Edward Wilson (Wilson, 1988). México respondió con rapidez al establecer una Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) en 1992, unos meses antes de la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro. Los objetivos esenciales de CONABIO se centraban en la generación de bases de datos y otras compilaciones que brindasen un panorama nacional de la biodiversidad. Empero, en su primera etapa, cuando eran una decena de personas en una casona de Coyoacán, encabezados por Jorge Llorente y con el respaldo de varios colegas brasileños, organizaron talleres y diplomados itinerantes sobre taxonomía y sistemática en varias instituciones del país, además de editar una serie de libros sobre estos y otros temas de biología comparada (Papavero y Llorente, 1993-1996).

Luego de algunos cambios del personal, ese énfasis de CONABIO en promover el conocimiento taxonómico se dejó de lado, en aras de incrementar las bases de datos, en lo que han sido particularmente exitosos. No obstante, el desdén parecía obedecer a la percepción de que la biota nacional estaba razonablemente bien conocida –quizá desde la perspectiva de aves, mamíferos y plantas superiores–, por lo que era prioritario compilar la información. No generar nueva, ni intensificar el entrenamiento de nuevos taxónomos. Fue un grave error. En las páginas siguientes explicaremos la razón de esta afirmación, pero podemos adelantar que una estimación reciente indica que conocemos un tercio del total de especies del país (Martínez-Meyer et al., 2014).

PANORAMA

México es uno de los países considerados mega diversos por su alta riqueza en especies y endemismos. En un 1.3% de la superficie planetaria, contamos con un 10-15% del total de especies continentales (Luna-Plascencia et al., 2011). Esta disparidad que puede mover a presunción, en realidad representa un serio reto para los biólogos. La importancia que México representa para la biodiversidad del planeta, por un lado, y por el otro, para la generación de información básica para potenciar estudios adicionales y para el futuro de la nación, demuestra que estamos contra reloj.

Desde esta perspectiva, el reto adquiere dimensiones titánicas cuando dimensionamos los avances a la fecha al compararlos con las estimaciones más recientes sobre el número de especies del planeta. Si consideramos a los organismos eucariotas (con núcleo verdadero), la tradición iniciada por Lineo de nombrar las especies con dos palabras (nomenclatura binominal) empezó a mediados de 1750 y desde entonces, se han descrito unos 2 millones de especies. Las reglas para hacerlo se compilan en sendos códigos de nomenclatura (botánica y zoológica) que lamentablemente son poco conocidos incluso por los taxónomos practicantes.

Una estimación reciente (Mora et al., 2011), basada en el hallazgo de que hay una tendencia numérica entre los componentes de cada categoría taxonómica (phylum a especie), resultó en casi 9 millones de especies para el planeta, de las que un poco más de 2 millones serían especies marinas, por lo que nuestro nivel de ignorancia sería cercano al 90%, repartida en un 86% de especies terrestres y 91% de las marinas aún por describir.

Un cálculo sencillo mostraría que, de mantenerse las condiciones actuales, harían falta unos 12 siglos para terminar la tarea. Lamentablemente, nuestra intensidad de transformación del paisaje ocasionará la extinción de la mayoría de las especies antes de siquiera recolectarlas, depositarlas en colecciones y mucho menos, describirlas. Es apremiante tener un plan de acción proporcional al tamaño del reto. Nuestro objetivo es presentar una recomendación para México; otras propuestas parecidas pero limitadas a los invertebrados marinos están en otra parte (Salazar-Vallejo et al., 2007, 2008).

IMPEDIMENTO TAXONÓMICO

El impedimento taxonómico indica que en las condiciones actuales no podremos llegar a conocer a todas las especies del planeta. El impedimento taxonómico es un problema estructural y global con dos componentes: uno hacia los usuarios y el otro hacia los practicantes (Ebach et al., 2011). En el primer caso, se refiere a que no contamos con información suficiente, actualizada y confiable sobre la biota de muchísimas regiones del mundo, lo que limita estudios sobre el uso potencial o sus relaciones



ecológicas. En el segundo, a la reducción de los taxónomos profesionales de centros de investigación, museos o universidades, ligada con el colapso de la generación de nuevas plazas y del entrenamiento de los jóvenes en taxonomía, así como la reducción de los fondos para investigación. Una de las razones para esto último sería que no hemos tenido objetivos claros y alcanzables, dado que seguimos con la incertidumbre sobre cuántas especies hay en el planeta.

Una propuesta de solución del problema de información fue la implementación de la técnica de códigos de barras del DNA (Hebert y Gregory, 2005). Se basa en la secuenciación de la fracción 1 del gen que codifica la citocromo-oxidasa mitocondrial, por lo que también es referida como COI, y tiene una resolución muy alta en la mayoría de los grupos de animales en los que se ha explorado, pero no en plantas. Hebert y Gregory (2005) enfatizaron que el método aceleraría la toma de decisiones taxonómicas sobre especies crípticas y permitiría conjugar etapas de desarrollo o dimorfismo sexual, así como reconocer posibles sinonimias. Esto ha sido posible al comparar con las secuencias disponibles y, de hecho, se ha dado un paso más al realizar análisis de muestras de agua para detectar evidencias de la presencia de especies, denominado DNA ambiental, que resulta muy útil al tratarse de exóticas (Dejean *et al.*, 2012). En realidad, la herramienta es poderosa y en tanto fuente de información, su utilidad es innegable y se han hecho recomendaciones para que sea incorporada en la taxonomía (Hubert y Hanner, 2015), en lo que se ha denominado taxonomía integrativa (Dayrat, 2005; Will *et al.*, 2005; Sukumaran y Gopalakrishnan 2015). Aunque la dinámica para la extracción y secuenciación puede hacerse con robots y en forma realmente masiva, el cuello de botella más limitante es la descripción de las especies (Pante *et al.*, 2015), lo que la convierte en una herramienta prospectiva y heurística. Entonces, debemos considerar el segundo componente del impedimento taxonómico: los taxónomos *per se*.

Las muchas crisis que enfrentan la taxonomía y los taxónomos fueron reseñadas en otra parte (Salazar-Vallejo y González, 2016); podemos mencionar que la situación es seria al colapsarse el número de taxónomos, porque en los últimos 15

años se perdieron dos tercios de los profesionales (Coleman, 2015). Incluso en grupos relativamente bien conocidos, como los peces, se ha observado en algunas sociedades científicas una disminución de los agremiados auto-identificados como taxónomos, con un aumento de los que se dedican a cuestiones “aplicadas”, como pesquerías y acuicultura (Schmitter-Soto, 2002). No obstante, en el presente trabajo debemos concentrarnos en las recomendaciones para la situación mexicana y en el cómo las universidades y tecnológicos podrían ser los principales generadores del cambio urgente para mejorar la situación. La razón esencial es la masa crítica con la que cuentan las casi 50 escuelas de biología repartidas en 25 estados del país, a las que debe agregarse las tres escuelas de biología marina y otras tantas de oceanología, así como sus instalaciones, bibliotecas y colecciones.

Ante las altas estimaciones sobre la diversidad de especies del planeta, Hebert *et al.* (2016) consideraron que, como los astrónomos con las estrellas, deberíamos abandonar la práctica de nombrar especies porque hay demasiadas sin bautizar. No es ni puede ser una estrategia razonable. La mayor contribución de la taxonomía a la ciencia y humanidad está por venir y pese a las críticas de algunos biólogos despistados, estamos en una etapa que debiera ser la de la expansión de la taxonomía.

RIQUEZA Y TAXÓNOMOS

La combinación entre riqueza biológica y talento profesional o taxónomos potenciales, nos permite considerar que podemos superar el reto que nos corresponde y, como ya han demostrado varios taxónomos talentosos, realizar estudios planetarios siempre que se disponga de tiempo, interés y recursos para hacerlo. No obstante, la relación no es tan simple por varias razones, entre las que destacan el desinterés por la taxonomía de parte de muchos biólogos profesionales, lo que desencadenó en el abandono de colecciones y tradiciones en varias escuelas. Esto no fue gratuito, pues en muchos programas universitarios de la carrera de biología o similares, los cursos básicos (botánicas y zoologías) fueron cancelados por otros supuestamente más modernos. Finalmente, y no menos importante, los fondos disponibles para plazas o proyectos de investigación son cada vez más exigüos; como

espetó alguna vez a uno de los autores un evaluador: 'Taxonomy is kind of riding in the back seat of science, don't you think?' Por supuesto que no.

No intentamos proponer que se abandone todo en aras de la taxonomía, sino que el respaldo gubernamental debe mejorarse en todos los niveles y, en particular, se requiere formalizar un plan nacional para la investigación taxonómica que incluya cursos, entrenamientos, nuevas plazas e instalaciones, y fondos para la investigación.

EDUCACIÓN SUPERIOR

Consideramos imprescindible un nivel de educación superior para emprender investigaciones en taxonomía porque debe haber entrenamientos básicos en biología, evolución, botánica y zoología que motiven el interés de los jóvenes, seguidos de ejercicios en grupos biológicos concretos. Puede ser que luego de una licenciatura y un posgrado no se consiga una plaza como taxónomo, pero es crítica la calidad de la formación. En países en los que el nivel salarial permite tal holgura económica que puede uno dedicarse a la taxonomía como aficionado, un 60% de las publicaciones taxonómicas son realizadas por personas que no tienen contratos explícitamente como tales (Fontaine *et al.*, 2012). No obstante, debe aclararse la conformación de estos dos grupos de especialistas, especialmente porque son los taxónomos profesionales los que pueden involucrarse en iniciativas colectivas y masivas como la que estamos presentando.

Grupo profesional Los profesionales son los taxónomos activos, que tienen una plaza y salario por sus actividades en esa disciplina, incluso si su contrato no lo especifica tal cual. Pueden desempeñarse en museos o centros de educación superior o investigación científica. La importancia central de este grupo radica en que a él se deben la mayor parte de los entrenamientos formales.

Grupo aficionado Los otros taxónomos cuya plaza y actividades no son estrictamente taxonómicas, como los muchos profesionales de las ciencias ambientales, o que se retiraron siendo taxónomos, pero siguen activos, y aquellos que tienen una actividad económica distinta y distante, pero que les permite hacer investigación

taxonómica. La actividad de este grupo impacta especialmente a taxones tradicionalmente llamativos, como las mariposas, las aves o los peces, y resulta paradójico que a menudo son los aficionados quienes realizan expediciones de colecta más largas e intensas, con valiosas informaciones de campo con potencial valor taxonómico. Por ejemplo, sobre coloración en vivo. Sin embargo, también es notoria la aportación de los taxónomos jubilados sobre phyla muy poco conocidos; de hecho, el conocimiento sobre éstos se puede estancar notoriamente a la muerte del último experto nacional o mundial.

ruta crítica

Regiones La regionalización biológica de México está bien definida a gran escala. La biota continental está entre las regiones biogeográficas neártica y neotropical, mientras que para la biota marina nos hallamos en el Pacífico oriental tropical, con una reducida intrusión de biota templada por la corriente de California, y el Gran Caribe. Algunas instituciones mexicanas han intentado cubrir la mayor parte de la biota nacional pero la mayoría están más o menos centradas en algunas regiones adyacentes o relativamente cercanas. Una primera consideración sería que cada una de las instituciones interesadas defina su región de interés, aunque como en otras grandes iniciativas mexicanas, como el programa de cátedras de Conacyt, deberían priorizarse las regiones menos atendidas, así como las instituciones menos consolidadas.

Tradición Otra consideración relevante es la tradición institucional. Es decir, deberá explicarse cuál es la cobertura de grupos de organismos, lo que puede manifestarse por las colecciones correspondientes, así como las tesis realizadas en dichos grupos. Puede adelantarse, empero, que el interés será el de ampliar la cobertura de grupos biológicos y evitar acumular las plazas o intereses en los grupos relativamente mejor conocidos, sin que esta estrategia implique abandonar éstos últimos; de hecho, es crucial buscar un relevo adecuado cuando el taxónomo responsable de una colección importante esté por retirarse.

Expansión Cada institución deberá realizar un ejercicio de expansión que incluya grupos biológicos poco atendidos en su tradición, pero con alguna

relevancia en términos de nivel de ignorancia, en papel ecológico, biomasa, por su relevancia agropecuaria, o para la salud pública. Esto implicará la generación de nuevas plazas y formación de taxónomos en las áreas determinadas, así como el espacio para la generación de nuevas colecciones tanto biológicas como de germoplasma.

NECESIDADES

Acuerdos Es necesario consensar la elaboración de un plan de acción nacional que incluya la formación y especialización de nuevos taxónomos para la mayor parte de grupos biológicos existentes, así como su integración laboral en los centros de investigación e instituciones de educación superior en todo el país. Esta reflexión y proyección deberán realizarse desde las escuelas de ciencias ambientales. Luego, deberán ventilarse en los foros de toma de decisiones de cada institución, para generar consensos y alcanzar respaldos formales. Dichas propuestas deberán incorporarse en los presupuestos institucionales y negociarse de manera colectiva en la instancia superior que corresponda, de preferencia con respaldo en las cámaras legislativas correspondientes, como se comentará más adelante. Las sociedades científicas, por su parte, deberán involucrarse de manera participativa y propositiva en el planteamiento y toma de decisiones para optimizar la calidad de las propuestas y afinar las orientaciones deseadas para sus grupos de interés.

Plazas Para concretar acciones proporcionales al reto que enfrentamos es prioritario generar nuevas plazas en los centros de investigación y de educación superior del país, priorizando las áreas de interés particular de las instituciones involucradas. El definir cuáles grupos ameritan mayor atención deberá ser resultado de un ejercicio colectivo y orientado al futuro. Por ejemplo, a nivel mundial el número de taxónomos repartidos entre vertebrados, plantas e invertebrados es 1:1:1, sin considerar a los paleontólogos. No obstante, debe evitarse mantener esa proporción porque cálculos muy someros arrojan que las plantas son 10 veces más diversas que los vertebrados, mientras que los invertebrados son muchísimo más diversos que los vertebrados (May, 2011). Esta nueva proporción podría modificarse mucho más al considerar a los procariontes (bacterias y arqueas) (Larsen et al., 2017). Por ello, el

número de plazas a generarse deberá idealmente equilibrarse de manera proporcional a la diversidad calculada en cada grupo taxonómico del árbol de la vida, y los intereses de investigación determinados de manera consensada.

Otras necesidades. De acuerdo con los grupos biológicos concretos y con el tipo de investigación a realizar, deberán considerarse otros aspectos relevantes tales como cuestiones de espacio y mobiliario (Simmons y Muñoz-Saba, 2005), de equipo y de necesidades específicas para actividades en estudios moleculares (DeSalle et al., 2002).

Fondos Además de las plazas de los curadores y personal de mantenimiento, deberán considerarse recursos para el fortalecimiento y mantenimiento de las colecciones científicas del país, así como recursos adicionales para salidas de recolecta, si fuera el caso, para la realización de tesis en taxonomía, estancias de investigación en otras colecciones nacionales o del extranjero, cursos complementarios o entrenamientos adicionales. Los montos se deben calcular y consensar en cada institución en función de sus prioridades y líneas de investigación subyacentes, para ser incluidos en el Plan Nacional y se consideren en los recursos solicitados a la federación.

Una posibilidad complementaria para la entrada de recursos para colecciones puede ser la instalación de museos de historia natural para público en general, donde se puedan exhibir ejemplares (taxidermia), fósiles o sus réplicas, minerales, sala de proyecciones de películas documentales, sala de educación ambiental, espacios interactivos, sala de usos múltiples (muestras de pintura, fotografía), cafetería y tienda de souvenir de la institución de que se trate. Los ingresos podrán ser marginales, pero el beneficio en apoyo público a la taxonomía será una inversión a largo plazo.

Entrenamiento México cuenta con taxónomos muy destacados en los diferentes grupos del árbol de la vida. Por ello, un compromiso imprescindible es aprovechar la gran experiencia de los taxónomos activos a través de cursos intensivos u otros entrenamientos. Sólo en caso de grupos sobre los cuales no exista un especialista en nuestro país, será conveniente enviar doctorantes con dicho experto, o bien invitar a éste para una estancia larga aquí. Del mismo modo, deberá considerarse la necesidad de

incorporar nuevas herramientas para la investigación taxonómica, especialmente métodos moleculares, para realizar esfuerzos integradores.

PROGRAMA NACIONAL

Nuestra vida presente y futura depende de la diversidad biológica; de ella obtenemos alimentos, medicinas, casa, vestido y esparcimiento, y de la actividad concertada de una gran parte de ellos podemos tener agua y aire limpios (Vellend *et al.*, 2017). El promover el conocimiento de la biodiversidad debería ser más que suficiente para motivarnos y tomar acciones concretas en ese sentido, ante la amenaza de las extinciones contemporáneas. Consideramos que un programa nacional en taxonomía debería tener una duración mínima de 25 años y someterse a revisiones periódicas para mejorarlo.

Si bien arriba hemos argumentado que la base humana del esfuerzo debe estar en centros de investigación y universidades, será preciso contar con el respaldo de secretarías de estado tales como las de Educación, Hacienda, Semarnat, SeMar, Recursos Naturales, Pesca y Marina. También, por supuesto, con las cámaras de senadores y diputados, a través de sus comisiones de Ciencia, Recursos naturales y otras. El programa debe ser federal, pero requerirá el respaldo también de las cámaras legislativas estatales y municipales. Debemos insistir que la gestión también debe ser colectiva.

Finalmente, aunque nos oponemos en principio a la idea de la ciencia como negocio, dado que el acceso y generación de conocimiento debe ser un derecho ciudadano garantizado por el Estado y no sujeto a los vaivenes del mercado, también es cierto que la iniciativa privada puede y debe coadyuvar en este esfuerzo. Por ejemplo, un buen acuario o museo puede ser fuente legítima de ingresos particulares y, al mismo tiempo apoyar el programa nacional de biodiversidad al fomentar investigaciones relevantes. Lo mismo cabe decir de comercios como el acuarístico, aunque será crucial que su interés usual por la ganancia fácil debida a la venta de variedades artificiales, se reoriente hacia la conservación y conocimiento de nuestras especies nativas.

Nuestro reto es adicionalmente abrumador si consideramos la poca consideración revelada por los presupuestos nacionales, federales o estatales, hacia la educación superior e investigación científica, en los que raramente son prioritarios y no alcanzan el 1% del PIB. Entonces, en lugar de sentirnos abatidos por ese panorama, debemos mejorar nuestra organización, la calidad de las solicitudes de financiamiento, y la gestión de proyectos de este tipo.

AGRADECIMIENTOS

La lectura cuidadosa por un revisor anónimo y por Jaime Gómez-Gutiérrez resultó en una notable mejora de esta contribución.



LITERATURA CITADA

- Barnosky, A., N. Matzke, S. Tomiya, G.O.U. Wogan, B. Swartz, T.B. Quental, C. Marshall, J.L. McGuire, E.L. Lindsey, K.C. Maguire, B. Mersey y E.A Ferrer. 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471:51-57. doi:10.1038/nature09678.
- Ceballos, G., P.R. Ehrlich y R. Dirzo. 2017. Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(30): E6089-E6096. doi: 10.1073/pnas.1704949114.
- Coleman, C.O. 2015. Taxonomy of the taxonomic impediment - Examples from the community of experts on amphipod crustaceans. *Journal of Crustacean Biology* 35:729-740. doi: 10.1163/1937240X-00002381.
- Dayrat, B. 2005. Towards integrative taxonomy. *Biological Journal of the Linnean Society* 85:407-415. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1095-8312.2005.00503.x/pdf>
- Dejean, T., A. Valentini, C. Miquel, P. Taberlet, E. Bellemain y C. Miaud 2012. Improved detection of an alien invasive species through environmental DNA barcoding: the example of the American bullfrog *Lithobates catesbeianus*. *Journal of Applied Ecology* 49:953-959. doi: 10.1111/j.1365-2664.2012.02171. x.
- DeSalle, R., G. Giribert, y W. Wheeler (Eds.). 2002. *Molecular Systematics and evolution: theory and practice*. Boston; Berlin: Birkhäuser, 309 pp. doi: 10.1007/978-3-0348-8114-2.
- Dirzo, R., H.S. Young, M. Galetti, G. Ceballos, N.J.B. Isaac y B. Collen. 2014. Defaunation in the Anthropocene. *Science* 345 (6195):401-406 doi: 10.1126/science.1251817.
- Ebach, M.C., A.G. Valdecasas y Q.D. Wheeler. 2011. Impediments to taxonomy and users of taxonomy: accessibility and impact evaluation. *Cladistics* 27:550-557. doi:10.1111/j.1096-0031.2011.00348. x.
- Fontaine, B. (+ 50 coautores). 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, 7 pp. doi:10.1371/journal.pone.003688.
- Haas, W., F. Krausmann, D. Wiedenhofer y M. Heinz. 2015. How circular is the Global Economy? *Journal of Industrial Ecology* 19(5):765-777. doi: 10.1111/jiec.12244.
- Hambler, C. y M.R. Speight. 1996. Extinction rates in British nonmarine invertebrates since 1900. *Conservation Biology* 10:892-896. doi: 10.1046/j.1523-1739.1996.10030892.x
- Hebert, P.D.N. y T.R. Gregory. 2005. The promise of DNA barcoding for taxonomy. *Systematic Biology* 54:852-859. doi: 10.1080/1063515050035488.
- Hebert P.D.N., S. Ratnasingham, E.V. Zakharov, A.C. Telfer, V. Levesque-Beaudin, M.A. Milton, S. Pedersen, P. Jannetta y J.R. deWaard. 2016. Counting animal species with DNA barcodes: Canadian insects. *Philosophical Transactions of the Royal Society, B* 371:20150333, 10 pp. doi: 10.1098/rstb.2015.0333.
- Hubert, N. y R. Hanner. 2015. DNA barcoding, species delineation and taxonomy: a historical perspective. *DNA Barcodes* 3:44-58. doi:10.1515/dna-2015-0006.
- Larsen, B.B., E.C. Miller, M. Rhodes y J.J. Wiens. 2017. Inordinate fondness multiplied and redistributed: the number of species on Earth and the new pie of life. *The Quarterly Review of Biology* 92(3):229-265. <https://doi.org/10.1086/693564>.
- Luna-Plascencia, R., A. Castañón-Barrientos y A. Raz-Guzmán. 2011. La biodiversidad en México: su conservación y las colecciones biológicas. *Ciencias* 101:36-43. <http://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/101/A4/CNS101A04.pdf>
- Martínez-Meyer, E., J.E. Sosa-Escalante y F. Álvarez. 2014. El estudio de la biodiversidad en México: ¿Una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(Suplemento):1-9. doi: 10.7550/rmb.43248.

- May, R.M. 2011. Why worry about how many species and their loss? *PLoS Biology* 9(8): e1001130. doi: 10.1371/journal.pbio.1001130.
- McCauley, D.J., M.L. Pinsky, S.R. Palumbi, J.A. Estes, F.H. Joyce y R.R. Warner. 2015. Marine defaunation: Animal loss in the global ocean. *Science* 347(6219): 247-1255641-7. doi: 10.1126/science.1255641.
- Mora, C., D.P. Tittensor, S. Adl, A.G.B. Simpson y B. Worm. 2011. How many species are there on Earth and in the ocean? *PLoS Biology* 9(8): e1001127, 8 pp. doi: 10.1371/journal.pbio.1001127.
- Noss, R.F., 1990. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology* 4:355-364. doi: 10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309. x.
- Pante, E., C. Schoelink y N. Puillandre. 2015. From integrative taxonomy to species description: One step beyond. *Systematic Biology* 64:152-160. doi:10.1093/sysbio/syu083.
- Papavero, N. y J. Llorente (Eds). 1993-1996. *Principia Taxonomica*. Facultad Ciencias, UNAM, México, 7 vols.
- Payne, J.L., A.M. Bush, N.A. Heim, M.L. Knope y D.J. McCauley. 2016. Ecological selectivity of the emerging mass extinction in the oceans. *Science* 353:1284-1286. <http://science.sciencemag.org/content/sci/353/6305/1284.full.pdf>.
- Salazar-Vallejo, S.I., E. Escobar-Briones, N.E. González, E. Suárez-Morales, F. Álvarez, J.A. de León-González y M.E. Hendrickx. 2007. Iniciativa mexicana en taxonomía: biota marina y costera. *Ciencia y Mar* 11:69-77.
- Salazar-Vallejo, S.I. y N.E. González. 1993. Panorama y fundamentos para un programa nacional. Pp 6-38. En: Salazar-Vallejo, S.I. y González, N.E. (Eds.). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO y CIQRO, México, 865 pp.
- Salazar-Vallejo, S.I., N.E. González y E. Schwindt. 2008. Taxonomía de invertebrados marinos: Necesidades en Latinoamérica. *Interciencia* 33:510-517.
- Salazar-Vallejo, S.I. y N.E. González. 2016. Crisis múltiples en taxonomía, implicaciones para la biodiversidad y recomendaciones para mejorar la situación. *Códice, Boletín Científico y Cultural del Museo Universitario, Universidad de Antioquia* 17:42-56. https://issuu.com/muua/docs/c_dice_29_web.
- Schmitter-Soto, J.J. 2002. La Ictiología según la SIMAC: 1987-2000. VIII Congreso Nacional de Ictiología, Universidad del Mar/Sociedad Ictiológica Mexicana, Puerto Ángel, Oaxaca.
- Simmons, J. E y Y. Muñoz-Saba (Eds.). 2005. *Cuidado, manejo y conservación de las colecciones Biológicas*. Bogotá, D. C. Colombia. 288 pp. ISBN958-33-6969-1
- Steven, W. (+27 coautores). 2016. Stratigraphic and Earth system approaches to defining the Anthropocene. *Earth's Future* 4, 22 pp. doi: 10.1002/2016EF000379.
- Sukumaran, S. y A. Gopalakrishnan. 2015. Integrative taxonomy: Methods and applications. Pp 162-163. En: Gopalakrishnan, A. (Ed.). *Summer School on Recent Advances in Marine Biodiversity Conservation and Management*. Indian Council for Agricultural Research, Central Marine Fisheries Research Institute, Kerala, Lecture Note Series 1:1-272. http://eprints.cmfri.org.in/10428/1/23_Sandhya_Sukumaran2.pdf
- Vellend, M., L. Baeten, A. Becker-Scarpitta, V. Boucher-Lalonde, J.L. McCune, J. Messier, I.H. Myers-Smith y D.F. Sax. 2017. Plant Biodiversity change across scales during the Anthropocene. *Annual Review of Plant Biology* 68:563-586. doi:org/10.1146/annurev-arplant-042916-040949.
- Wackernagel, M., N.B. Schulz, D. Deumling, A.C. Linares, M. Jenkins, V. Kapos, C. Monfreda, J. Loh, N. Myers, R. Norgaard y J. Randers. 2002. Tracking the ecological overshoot of the human economy. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99(14):9266-9271. doi:10.1073/pnas.142033699.
- Will, K.W., B.D. Mishler y Q.D. Wheeler. 2005. The perils of DNA barcoding and the need for integrative taxonomy. *Systematic Biology* 54:844-851. doi: 10.1080/10635150500354878.
- Wilson, E.O. (Ed.) 1988. *Biodiversity*. National Academies Press, Washington, 538 pp.