

**FÓSILES INTELIGENTES: APLICACIONES  
EDUCATIVAS DE LOS MODELOS TRIDIMENSIONALES DE  
LOS LAGARTOS GIGANTES DE CANARIAS**

**SMART FOSSILS: EDUCATIONAL APPLICATIONS  
OF 3D GIANT CANARY ISLANDS LIZARDS MODELS**

Carolina Castillo Ruiz

[ccruiz@ull.es](mailto:ccruiz@ull.es)

María del Carmen Alfayate Casañas

[malfayat@ull.es](mailto:malfayat@ull.es)

Agustina Ahijado Quintillán

[aahijado@ull.edu.es](mailto:aahijado@ull.edu.es)

Universidad de La Laguna, Tenerife, España

Penélope Cruzado-Caballero

[pcruzado@ull.edu.es](mailto:pcruzado@ull.edu.es)

[pccaballero@unrn.edu.ar](mailto:pccaballero@unrn.edu.ar)

Universidad de La Laguna, Tenerife, España

Universidad Nacional de Río Negro, General Roca, Argentina

Josep Fortuny

[josep.fortuny@icp.cat](mailto:josep.fortuny@icp.cat)

Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont,

Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España

Federico Bernardini

[fbernard@ictp.it](mailto:fbernard@ictp.it)

International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italia

## RESUMEN

Desde el Área de Paleontología de la Universidad de La Laguna se está llevando a cabo la creación de una colección de modelos digitales de fósiles para su uso en educación y divulgación. Se ha demostrado que el empleo de modelos digitales son muy eficaces a la hora de hacer partícipe al público general de los resultados obtenidos en las investigaciones científicas. Apoyándose en la experiencia obtenida en un trabajo previo en el que se crearon contenidos multimedia a partir de materiales fósiles de invertebrados, el Área de Paleontología ha iniciado un nuevo proyecto con materiales actuales y fósiles de lagartos gigantes endémicos de la Islas Canarias pertenecientes al género *Gallotia*. Dicho proyecto consta de dos fases, una primera en la que se obtendrá información científica y una segunda en la que se adaptaran los resultados para la generación de contenidos multimedia para el público general. Como primeros resultados del proyecto se han realizado con éxito las microtomografías, modelizaciones e impresiones de los especímenes en estudio y se ha iniciado con el estudio y obtención de información paleobiológica que será empleada en ambas fases.

**PALABRAS CLAVE:** Registro fósil, microtomografía, impresión tridimensional, Paleobiología, recursos educativos, Islas Canarias

## ABSTRACT

The Paleontology Area of La Laguna University has been developing a collection of digital models of fossils in order to use them in education and divulgation. It has been shown that the use of digital models are effective in getting closer the general public to the results obtained in scientific research. Based on the experience gained in previous work where multimedia contents were created from fossil invertebrate materials, the Paleontology Area has started a new project with present and fossils remains of endemic giant lizards from the Canary Islands belonging to the *Gallotia* genus. The project consists of two stages: firstly, scientific information will be obtained and secondly in which the results will be adapted to generate multimedia contents. The first results of the project were microtomographies, modeling and impressions of specimens under study. This stage has been successfully carried out. Moreover, the study and acquisition of paleobiological information that will be used in both phases has begun.

**KEYWORDS:** Fossil record, micro ct-Scan, tridimensional technology, Paleobiology, educational applications, Canary Island.

## INTRODUCCIÓN

La Paleontología es una ciencia que despierta gran curiosidad e interés en la sociedad actual debido a su objeto de estudio, el Registro Fósil, el cual incluye desde las primeras evidencias de la vida sobre la Tierra (Proterozoico) hasta prácticamente la actualidad (Holoceno). Los fósiles forman parte del patrimonio histórico, cultural y natural y tienen interés científico, sociocultural y socioeconómico (Castillo *et al.*, 2001; Santucci *et al.*, 2016; Barnosky *et al.*, 2017). Igualmente pueden ser

empleados como un recurso transversal muy útil en la enseñanza al ser sus aplicaciones educativas muy variadas y, gracias al uso de las nuevas tecnologías tridimensionales (3D), cada día se abren nuevas y atractivas posibilidades. Actualmente el uso de las tecnologías de escaneo, digitalización, modelización e impresión en 3D se han hecho muy necesarias tanto para las investigaciones paleontológicas como para la divulgación de los resultados obtenidos (Bolet *et al.*, 2014; Cruzado-Caballero *et al.*, 2015; Leakey and Dzambazova, 2013) y se ha demostrado que el empleo de modelos digitales son muy eficaces a la hora de transmitir al público general los resultados obtenidos a partir de investigaciones científicas complejas (Bates *et al.* 2009; Reynolds, 2010). Ejemplo de esto puede ser los recursos ya creados a partir de material fósil de invertebrados marinos del Neógeno y Cuaternario procedentes del registro fósil canario: colección de modelos digitales, e-book, empaquetamiento con réplica tridimensionales, códigos QR con contenidos educativos y un elemento de realidad aumentada (Fig. 1; Castillo Ruiz *et al.*, 2016).



Figura 1. Diferentes recursos de apoyo al aprendizaje obtenidos de la digitalización de restos fósiles.

Entre los fósiles presentes en las Islas Canarias, se encuentran los lagartos gigantes endémicos del género *Gallotia* Boulenger, 1916 (Figs. 2-3). Los fósiles de estos saurios pueden ser encontrados en formaciones sedimentarias (paleodunas) o en formaciones volcánicas (tubos volcánicos)

y en algunas ocasiones se conservan momificados o parte del esqueleto articulado (Fig. 3),. Este grupo zoológico también presenta especies actuales, estando repartidas por cinco islas del archipiélago canario de forma natural (en otras han sido introducidos). El hecho de tener tanto especies vivas como fósiles es de gran importancia ya que permite conocer cuál fue la respuesta biológica de estas especies a los cambios en el tiempo, entre los que se incluyen la acción antrópica.

Teniendo en cuenta la importancia de estos fósiles de lagartos canarios, recientemente se han escaneado varios individuos de diversas especies, así como algunas de las actuales. Además, del modelado tridimensional de los mismos e impresión en impresoras 3D. En este contexto, se presenta este trabajo constituido por dos fases, una primera cuyo objetivo es obtener información científica de diferentes variables paleobiológicas como pueden ser: el modo de vida de los lagartos, los cambios morfológicos a lo largo del tiempo a partir de su modelización tridimensional en alta resolución, y una segunda fase en la que se adaptará la información obtenida en la fase anterior siguiendo un objetivo educativo. De esta forma, toda la documentación que se obtenga será adaptada al ámbito didáctico mediante la creación de actividades sencillas en las que se empleen los recursos digitales obtenidos en la primera fase. Dichos recursos se usarán para apoyar el aprendizaje con el fin de aclarar las ideas preconcebidas que puedan poseer los usuarios y de aportar nuevos conocimientos

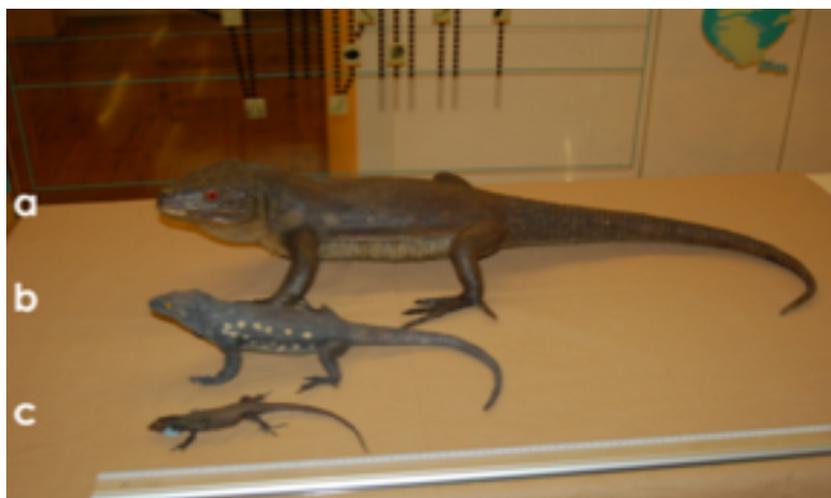


Figura 2. a) Lagarto gigante extinto *Gallotia goliath* (reconstrucción, en el Museo de la Naturaleza y el Hombre de Santa Cruz de Tenerife). b) Lagarto Gigante de El Hierro *G. simonyi*. c) Lagarto tizón de Tenerife *G. galloti*. Se observa la diferencia de tamaño entre el extinto (a) y los ejemplares de las dos especies que viven hoy en día (b, c).



**Figura 3. Lagarto gigante extinto de Tenerife (*G. goliath*) momificado con los huesos del cráneo y los dientes en articulación y con restos de la piel.**

## METODOLOGÍA

La técnica utilizada para la obtención de modelos tridimensionales de alta resolución de los lagartos gigantes de Canarias es la micro-tomografía computerizada de rayos X. Esta técnica no es destructiva ni invasiva, y permite visualizar el exterior e interior de muchos tipos de materiales, tales como metales, cerámica, huesos, rocas, fósiles, etc. (Bello *et al.*, 2013; Clark and Badea, 2014; Llàcer y Fortuny, 2016; Smith *et al.*, 2016), sin que el objeto sufra ningún tipo de daño ni deterioro. Su uso es cada vez más abundante en biología y paleontología dada la importante información que proporciona en campos como la taxonomía, conservación, morfometría, etc (Fig. 4). En el caso particular de la paleontología, el hecho de que los fósiles muchas veces se hallen rellenos de matriz (Fig. 4a), o que el sedimento los recubra parcial o completamente, siendo a veces muy difícil o imposible su extracción física de esta, provoca que la tomografía computerizada se convierta en una herramienta extremadamente valiosa para poder preparar digitalmente el fósil (4c).

Para la obtención de modelos tridimensionales de alta resolución de los lagartos gigantes de Canarias se utilizaron especímenes fósiles (2 *Gallotia* sp.) y actuales (29 ejemplares de adultos y juveniles de las especies *G. simonyi*, *G. stehlini*, *G. caesaris*, *G. c. gomerana*, *G. bravoana*, *G. galloti galloti*, *G. g. palmae*, *G. atlantica* y *G. intermedia*) de las diferentes especies que han habitado y habitan en el archipiélago. Estos ejemplares se escanearon con un equipo de micro-tomografía de rayos X de alta resolución (unas pocas decenas de micrones), en el Laboratorio Multidisciplinar del International Centre for Theoretical Physics (Trieste, Italia). Posteriormente al escaneo global de los indivi-

duos, se realizó una separación digital de los huesos y eliminación de la matriz, en el caso de los especímenes fósiles, para generar modelos tridimensionales por separado para su estudio científico y la realización de aplicaciones educativas.

El modelado tridimensional se realizó en el Institut Català de Paleontologia Miquel de Crusafont (Sabadell, España) y la impresión en impresoras 3D en Universidad de La Laguna (La Laguna, España).

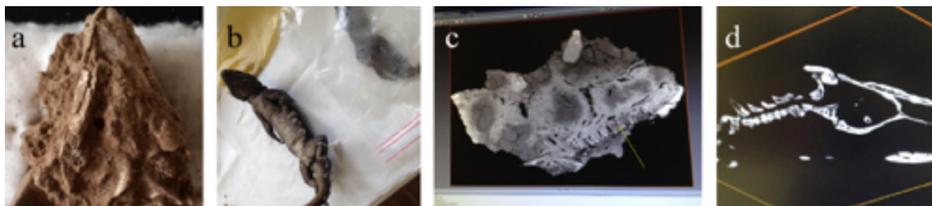


Figura 4. a) Resto fosilizado de un cráneo de lagarto gigante de La Palma (*Gallotia* sp.) dentro del sedimento. b) Especimen actual de lagarto gigante de El Hierro (*G. simonyi*). c-d) Microtomografías computarizada (micro CT-scan); c: del resto fósil de *G. sp.*, d: de la especie actual, *G. simonyi*.

## RESULTADOS

Actualmente se está aún trabajando en la primera fase del proyecto, con el desarrollo de los modelados tridimensionales de los especímenes escaneados y primeras impresiones 3D. Los modelos obtenidos están aportando cierta información paleobiológica que será muy útil, como por ejemplo, en el desarrollo y diferenciación de los diferentes huesos craneales, especiación, biomecánica mandibular, etc. (Fig. 5). Los modelos han sido creados en formato .stl para que puedan ser visualizados con diferentes programas gratuitos (p.e. Meshmixer o MeshLab) y leídos por impresoras tridimensionales de toda gama. La resolución de los modelos tridimensionales de los lagartos actuales y fósil obtenidos es extremadamente buena (precisión de 20  $\mu$ m), debido a que los escaneros fueron realizados en un microtomógrafo industrial para poder abordar uno de los objetivos como era la investigación científica. En la segunda fase, en la cual la información obtenida se adaptará para la creación de los materiales educativos se bajará la resolución de los modelos sin que pierdan calidad. Esto permitirá un adecuado manejo de los mismos independientemente del dispositivo que se emplee. Con los modelos se podrá visualizar la forma general del espécimen, ornamentación de los osteodermos que recubren al cráneo y la identificación individual de cada hueso que conforman el cráneo, entre otras cosas (Fig. 4).

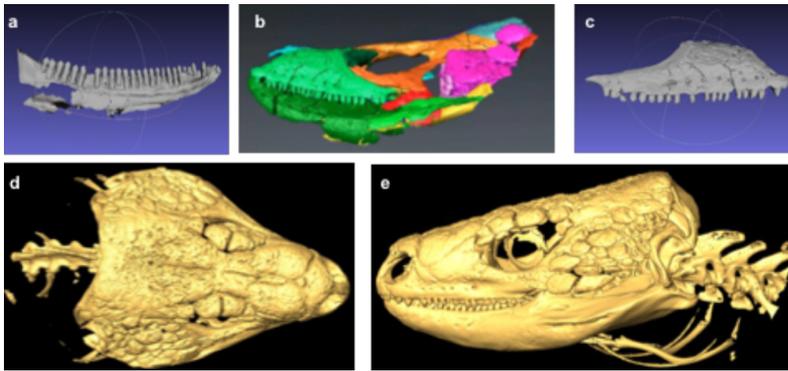


Figura 5. a y c) Modelos tridimensionales (en formato stl) de un dentario y un maxilar respectivamente, segmentados de la reconstrucción realizada del cráneo fósil incrustado en el sedimento. Los diferentes colores en b), muestran distintos huesos conservados e identificados. d y e) vistas superior y lateral respectivamente del cráneo de un macho de lagarto gigante de El Hierro (*G. simonyi*).

Además, se ha iniciado la impresión de algunos de los modelos tridimensionales (Fig. 6 y 7) obtenidos de las especies actuales. Se han impreso tanto cráneos completos, como diversas partes del esqueleto y huesos sueltos. El objetivo de estas primeras impresiones es constatar su calidad, el uso por parte de alumnos y la búsqueda de diferentes tipos de moldes que puedan ser usados en actividades educativas.

El empleo de los modelos 3D en talleres educativos permite abordar el concepto de biodiversidad y su asimilación, al poder mostrar las diferencias existentes entre los saurios fósiles y vivos de las islas (Fig. 6), así mismo, presentar como han cambiando los huesos del cráneo a lo largo de la vida de los lagartos, utilización del concepto de desarrollo (Fig. 7). Además los alumnos/as podrán manipular los huesos por separado o montar, a modo de puzzle, las partes concretas de un esqueleto o un cráneo, acometiendo los conceptos de anatomía y osteología (Fig. 6). Esta técnica también permitiría hacer simulacros de excavaciones paleontológicas en los que los moldes sean desenterrados (enseñanza de parte del trabajo de un paleontólogo), realización de moldes y replicados con latex y escayola usando los modelos impresos de huesos más robustos como por ejemplo la mandíbula (enseñanza del concepto de fosilización), etc.

Paralelamente se desarrollaran fichas con contenidos básicos y con actividades a cumplimentar por parte del usuario que requieran del uso de los modelos impresos como apoyo visual. Conjuntamente a todas estas posibilidades se realizaran encuestas pre y post taller con el fin de evaluar el grado de conocimiento de los usuarios, si son correctas o no las ideas preconcebidas con las que vienen al taller y la consolidación de conocimientos nuevos y resolución de los erróneos. Estas encuestas permitirán valorar y mejorar las actividades que se lleven a cabo empelando los recursos y la información obtenida.

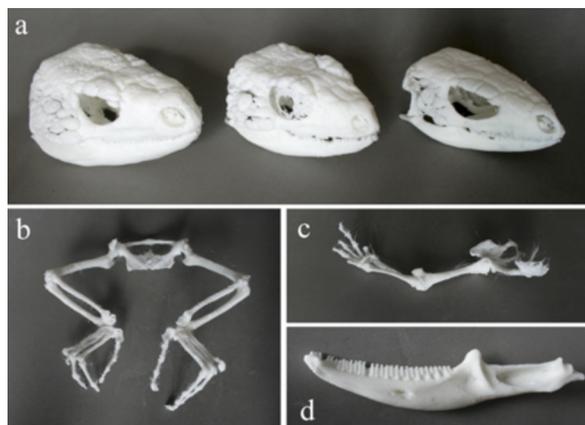


Fig. 6. a) Cráneos de lagartos adultos; b-c) miembros posteriores y anteriores respectivamente; d) mandíbula inferior.

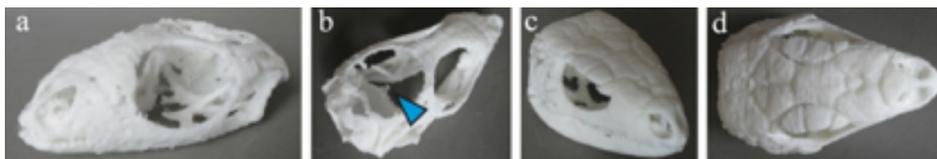


Fig. 7. A-b) Cráneo de individuo juvenil; c-d) cráneo de individuo adulto. La flecha marca la falta de osificación parcial de los huesos parietal y frontal en un individuo juvenil.

## DISCUSIÓN

El valor educativo del uso de diferentes recursos es amplio al permitir ilustrar determinados conocimientos, favorecer el aprendizaje de los mismos, acercar al usuario métodos y técnicas del trabajo científico, etc. Al incorporar los modelos tridimensionales digitales e impresos a diferentes actividades y aplicaciones educativas se buscará cumplir con los siguientes objetivos: **a)** reforzar los conceptos de evolución (al comparar los modelos de los fósiles y los actuales se podrán ver qué cambios sufrió el esqueleto), o cambio climático (al comparar especies que vivieron en épocas con ambientes diferentes); **b)** proteger la naturaleza (al promover el conocimiento de la fragilidad de las especies tanto las actuales como las fósiles, y aportar datos de las especies extinguidas y las que han cambiado a lo largo del tiempo, útiles en los planes de conservación); **c)** proteger el patrimonio paleontológico local (acercando y fomentado la interacción de la sociedad con los fósiles de su entorno cosa muy complicada de hacer con los fósiles originales de vertebrados); **d)** ayudar a “poner de moda” la cultura científica; **e)** incrementar el conocimiento y manejo de las tecnologías tridimensionales. Además, los objetos de aprendizaje tridimensional que se creen en la segunda etapa se podrán usar para la competencia transversal de

aprendizaje autónomo. De modo que con la realización de esta investigación se contribuirá en la denominada “alfabetización digital”, objetivo de los distintos informes internacionales sobre educación en relación a las tecnologías, y que se ha convertido en un referente: el “Informe Horizon”. En España, este informe se presenta desde el Instituto de Tecnologías Educativas (ITE), dependiente del Ministerio de Educación y responsable de la integración de las Tecnología de la Información y Comunicación en la enseñanza (TICE). Según estos informes las tecnologías de nueva generación se prevé que tengan impacto en la educación tanto universitaria como en secundaria. Se ha demostrado que al trabajar con sistemas multimedia que incluyen texto, imágenes y modelos 3D en un mismo documento, se incrementa la retención de lo aprendido durante más tiempo (Clark, 2001) y la combinación de dichos objetos de aprendizaje en un mismo documento produce un producto atractivo y eficiente para los usuarios.

## CONCLUSIONES

Esta primera etapa de escaneo, modelización e impresión de los especímenes está resultando altamente satisfactoria. Los primeros modelos han proporcionado interesante información paleobiológica que será muy útil para posteriores estudios paleontológicos y educativos. Con la generación e impresión de los modelos se inicia parte de la segunda etapa de creación de contenidos multimedia educativos. En esta fase se aprovecharán los conocimientos previamente adquiridos durante la creación de contenidos multimedia con otros especímenes paleontológicos para crear diferentes productos destinados tanto al público general como a estudiantes de diferentes niveles (Castillo Ruiz et al., 2016).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATES, K. T., FALKINGHAM, P. L., HODGETTS, D., FARLOW, J. O., BREITHAUPT, B. H., O'BRIEN, M., NEFFRA MATTHEWS, N; SELLERS, W.I MANNING, P. L. (2009). Digital imaging and public engagement in palaeontology. *Geology Today* (25, 4), 134-139.
- BARNOSKY, A. D., HADLY, E. A., GONZALEZ, P., HEAD, J., POLLY, P. D., LAWING, A. M., ERONEN, J. T., ACKERLY, D. D., ALEX, K., BIBER, E., BLOIS, J., BRASHARES, J., CEBALLOS, G., DAVIS, E., DIETL, G. P., DIRZO, R., DOREMUS, H., FORTELIUS, M., GREENE, H. W., HELLMANN, J., HICKLER, T., JACKSON, S. T., KEMP, M., KOCH, P. L., KREMEN, C., LINDSEY, E. L., LOOY, C., MARSHALL, C. R., MENDENHALL, C., MULCH, A., MYCHAJLIW, A. M., NOWAK, C., RAMAKRISHNAN, U., SCHNITZLER, J., SHRESTHA, K. D., SOLARI, K., STEGNER, L., STEGNER, M. A., STENSETH, N. C., WAKE, M. H., y ZHANG, Z. (2017). Merging paleobiology with conservation biology to guide the future of terrestrial ecosystems. *Science* 355 (6325): 1-10.
- BELLO, S. M., DE GROOTE, I., y DELBARRE, G. 2013. Application of 3-dimensional microscopy and micro-CT scanning to the analysis of Magdalenian portable art on bone and antler. *Journal of Archaeological Science* 40(5): 2464-2476.

- BOLET, A., DELFINO, M., FORTUNY, J., ALMÉCJA, S., ROBLES, J. M., y ALBA, D. M. (2014) An Amphibaenian Skull from the European Miocene and the Evolution of Mediterranean Worm Lizards. *PLoS ONE* 9(6): e98082. doi:10.1371/journal.pone.0098082
- BOULENGER (1916). On the lizards allied to *Lacena agilis* and *Lacerta parva*. *Transactions of the Zoological Society of London* 21: 1-90.
- CASTILLO, C., MARTÍN GONZÁLEZ, E. y MARTÍN OVAL, M. (2001). Valoración del Patrimonio Paleontológico de Canarias: propuesta de Puntos de Especial Interés paleontológico. *Revista Española de Paleontología*, n.º extraordinario, 105-116.
- CASTILLO RUIZ, C., SAORÍN PÉREZ, J. L., MEIER, C., GARCÍA GOTERA, C. M., MARTÍN GONZÁLEZ, M. E., CRUZADO-CABALLERO, P., NAVARRO, A. V., y O'DWYER ACOSTA, J. 2016. Creación de objetos de aprendizaje tridimensionales para la docencia del Registro Fósil. VI Jornadas de Innovación Educativa de la Universidad de La Laguna. Vicerrectorado de Docencia. Formación del Profesorado e Innovación Docente de la Universidad de La Laguna. 2016. p53 - 72. Isbn 978-84-617-6450-1
- CLARK, R. E. (2001). Learning from media: Arguments, analysis, and evidence. Information Age Publishing Inc. Connecticut. United States of America.
- CLARK, D. P., y BADEA, C. T. 2014. Micro-CT of rodents: state-of-the-art and future perspectives. *Phys Medical* 30(6): 619-634.
- CRUZADO-CABALLERO, P., FORTUNY, J., LLACER, S., y CANUDO, J. I. 2015. Paleoneuroanatomy of the European lambeosaurine dinosaur *Arenysaurus ardevoli*. *PeerJ* 3: e802.
- LLACER, S., y FORTUNY, J. (2016). Aplicaciones de la tomografía industrial a la biología y al patrimonio paleontológico. *Revista de la Asociación Española de Ensayos No Destructivos* 74: 12-17.
- LEAKEY, L., y DZAMBAZOVA, T. (2013). Prehistoric Collections and tridimensionales Printing for Education. En: Canessa, E., Fonda, C. and Zennaro, M. (eds). Low-cost tridimensionales printing for Science, Education and Sustainable Development (pp.159-161).
- REYNOLDS, J. L. (2010). Utilizing three-dimensional image scanning and printed models of traces and trace fossils in k-12 classrooms. [Abstract] 2010 GSA Denver Annual Meeting (31 October - 3 November 2010).
- SANTUCCI, V. L., NEWMAN, P., y TAFF, B. D. (2016). Toward a conceptual framework for assessing the human dimensions of paleontological resources. En: SULLIVAN, R. M. and LUCAS, S. G. (eds.). *Fossil Record* 5. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 74, 239-248.
- SMITH, D. B., BERNHARDT, G., RAINE, N. E., ABEL, R. L., SYKES, D., AHMED, F., PEDROSO, I., y GILL, R. J. 2016. Exploring miniature insect brains using micro-CT scanning techniques. *Scientific Reports* 6. doi:10.1038/srep21768