

# **Santo llamando a Blue Demon: incorporación de nuevas tecnologías para estudiar la morfología de los corales**

**Mtro. Sergio D. Guendulain-García<sup>1</sup>**

**Dr. Andrés López-Pérez<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud,  
Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, México.*

*<sup>2</sup>Laboratorio de Arrecifes y Biodiversidad (ARBIOLAB)/Laboratorio  
de Ecosistemas Costeros, Universidad Autónoma Metropolitana.*

**Resumen**

El tamaño y forma de las colonias de coral define en gran medida la función que estas desempeñan en el ecosistema arrecifal generando, por ejemplo, más refugio. La construcción y el análisis realizados a partir de modelos tridimensionales de corales ha permitido, entre otras cosas, cuantificar el grado de complejidad estructural de estos organismos y realizar aproximaciones respecto a la función estructural de los mismos. El presente trabajo hace un breve relato del estudio de la forma, de las necesidades de estudiar la forma de los corales en tres dimensiones, y de la incorporación de herramientas que facilitan su estudio.

**Palabras clave:** Complejidad estructural, corales, funcionalidad.

**Abstract**

Coral size and shape defines their function in the reef ecosystem, determining, for example, the among and type of shelter for associate organisms. The construction and analysis of three-dimensional (3D) coral models has allowed, among other things, to quantify the structural complexity of these organisms and to make approximations of their function. Here we discuss the importance of the determination of shape complexity in corals and provide a brief history of coral shape study as well as the incorporation of new technologies.

**Key words:** structural complexity, corals, functionality

El término arrecife de coral ha ganado popularidad; de manera constante son estrellas de documentales y películas que a más de uno le han hecho derramar lágrimas, pero su aparición en televisión,

radio y prensa escrita en particular con noticias relacionadas con su deterioro y con el cambio climático, los han puesto en boca de todos. Por ejemplo, si hacemos una búsqueda en Google utilizando el término “arrecifes de coral” arrojaría unos cinco millones de resultados; desde información altamente especializada, hasta la relacionada con dibujos animados (ie. Buscando a Nemo).

Los principales responsables de la formación de arrecifes son los corales que al crecer depositan cristales de carbonato de calcio que forman la materia prima para la construcción de estos ecosistemas. Los corales son, tal vez, uno de los organismos más peculiares de la naturaleza puesto que parecieran haber salido de una historia mítica: poseen atributos de piedras, de plantas y, a la vez, de animales. De manera adicional, estos animales presentan una amplia diversidad de formas, desde las relativamente simples que siguen la configuración del sustrato donde se desarrollan y esféricas, hasta las más complejas como los corales con morfologías ramificadas (Figura 1). La diversidad morfológica de los corales es de tal magnitud, que si la identificación de estos organismos solo dependiera de las características morfológicas del esqueleto sería difícil ubicarlos en un solo grupo. La combinación de formas y abundancia de estos organismos han logrado que, por cientos, miles y millones de años los arrecifes desarrollen complejas estructuras.

La complejidad estructural es uno de los atributos más importantes en la naturaleza. A escala geomorfológica y producto de cientos de miles o millones de años, podemos apreciar complejos de montañas y cañones de distintas formas y dimensiones; a

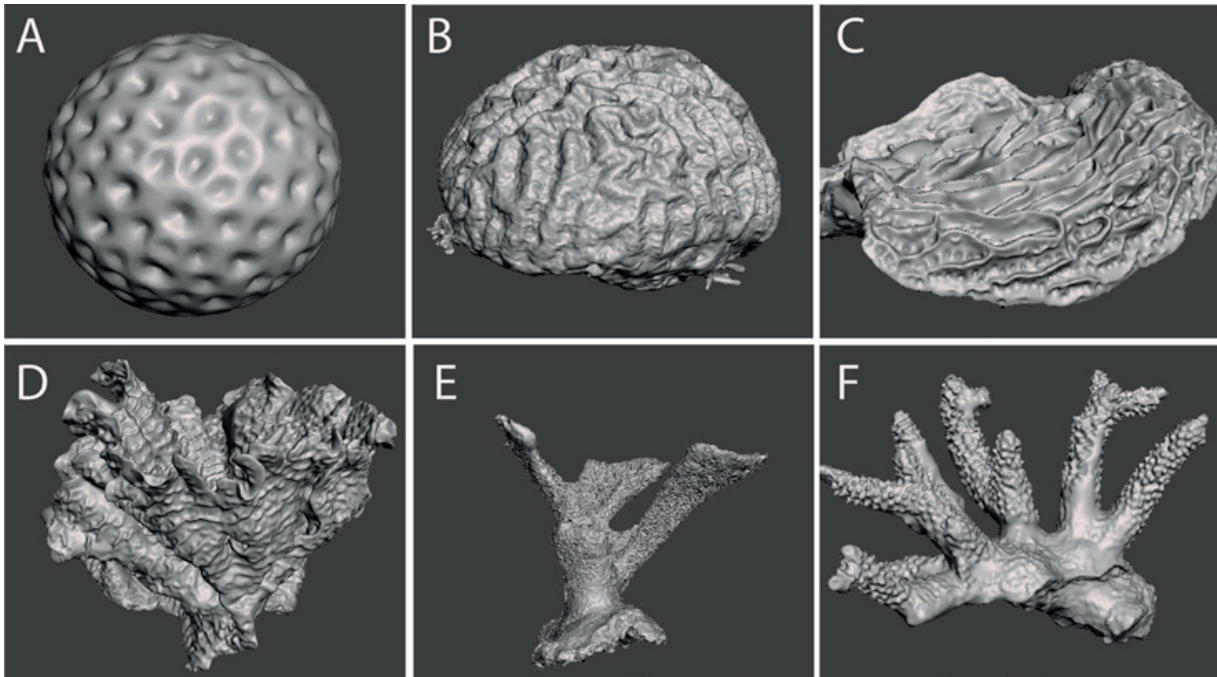


Figura 1. Modelos 3D que ejemplifican la variación en la morfología de los corales en seis especies: A) *Siderastrea radians*, B) *Pseudodiploria strigosa*, C) *Undaria agaricites*, D) *Undaria tenusfolia*, E) *Acropora palmata*, F) *Acropora cervicornis*

escala más pequeña podemos atestiguar la rugosidad de la corteza de los árboles. En arrecifes de coral, la complejidad estructural es tal que promueve la biodiversidad, abundancia y biomasa de especies asociadas, lo que convierte a los arrecifes de coral en centros de muy alta diversidad igualando, y en algunos casos, superando la diversidad observada en las selvas tropicales.

Desde tiempos remotos y aun sin haber recibido una educación formal, hemos sido capaces de reconocer formas en la naturaleza. Aunque el reconocimiento y análisis de las formas pudiera haber ocurrido de manera independiente en varias culturas antiguas, debemos a Pitágoras (569 a.C) la formalización del método para cuantificar la forma de un triángulo.

Sin embargo, la determinación de atributos de cuerpos irregulares no ha resultado ser una tarea sencilla y ha representado

un reto importante desde el origen de los estudios científicos. La leyenda cuenta que Arquímedes (287 a.C) resolvió como obtener volúmenes de cuerpos irregulares cuando tomaba, lo que suponemos era, un placentero baño de tina. Arquímedes, tras pronunciar Eureka, espeto en griego algo más o menos así: “todo cuerpo que se sumerge en un líquido experimenta un empuje de abajo hacia arriba proporcional al peso del volumen del líquido desalojado” (Tomado de: La Gallina Dijo Eureka, Les Luthiers). Con esto, poco más de dos siglos atrás, la cuantificación de volúmenes de cuerpos con formas complejas habría sido resuelta, pero faltaba generar métodos para determinar numerosos atributos morfológicos de cuerpos irregulares.

En corales, las primeras aproximaciones a la estimación del área superficial consistieron en métodos invasivos como envolver fragmentos de coral en papel alumi-

nio para después pesarlo y aproximar el área con una curva de calibración (eso vs área). Sin embargo, a partir del año 2000 y gracias al avance tecnológico, se tuvo la capacidad de representar colonias de coral en tres dimensiones (3D), abriendo la puerta a determinar no solo medidas relacionadas con las tallas de los corales, sino también la oportunidad de cuantificar atributos relacionados con la forma de estos organismos (Zawada et al. 2019).

La digitalización 3D consiste en la representación de objetos en un plano de tres dimensiones (x, y, z). Los objetos son descritos por medio de una serie de triángulos (Gracias Don Pitágoras) interconectados por sus vértices en forma de red, de tal forma que cada triángulo posee una posición x, y, z en el espacio; el arreglo de estos triángulos se organiza en una matriz de numerosas columnas y renglones. Es a partir del análisis matemático de esta matriz, que podemos cuantificar atributos de talla y forma de objetos incluso con formas irregulares.

A pesar de que el empleo de las tomografías computarizadas (CT por sus siglas en inglés) sea hasta el momento la técnica más precisa para la obtención de modelos 3D (Veal et al., 2010), las técnicas más populares y accesibles para el estudio de corales y arrecifes han sido la fotogrametría y el empleo de los escáner 3D.

La fotogrametría consiste en la construcción de objetos 3D a partir de imágenes bidimensionales que se superponen en un 70-80%. Un software especializado identifica características similares en las imágenes y las ordena de acuerdo con la posición en que fueron tomadas, a partir de lo cual se identifican puntos de coincidencia (nube de puntos dispersa); finalmente, mediante un algoritmo se reconstruye el objeto en 3D

(Anelli et al. 2019). Por su parte, los escáneres 3D proyectan patrones determinados de luz (láser o visible) sobre los objetos, un sensor captura la luz reflejada y a partir de la diferencia entre la luz emitida por el escáner y la recibida por el sensor, se recrean las irregularidades producto de la forma de los objetos. Es, justamente, la diferencia en los patrones de luz que permite recrear el objeto en 3D (Rocchini et al. 2001).

A partir de la digitalización 3D de corales se han determinado las dimensiones de colonias para, por ejemplo, medir tasas de crecimiento en corales (Lange and Perry 2020), atributos poblaciones (Hernández-Landa et al., 2020), y la manera en que avanzan enfermedades (Meiling et al. 2020; Combs et al. 2021). Adicionalmente, ha sido empleada para medir atributos de complejidad estructural como la rugosidad superficial de las colonias (Reichert et al. 2017; Fukunaga et al. 2019), la relación entre la complejidad estructural y la generación de refugio (Ferrari et al. 2017; Fukunaga et al. 2019; Urbina-Barreto et al. 2021) y describir el espacio funcional creado por la variación en formas de los corales (Zawada et al. 2019).

En ecología, la función de un organismo ha sido recientemente empleada para describir la relación entre los rasgos (atributos) de los organismos (¿cómo es el organismo?) y el rol o función que estos atributos desempeñan en el ecosistema (Bellwood et al. 2019). Una de las principales funciones atribuidas a la complejidad de los corales, es la generación de refugio para organismos que habitan los arrecifes. Así pues, atributos tal como el tamaño, así como la forma de corales genera hábitats específicos que influyen en la cantidad, la talla y el tipo de organismos asociados (Figura 2). Cuantificar, por lo tanto, la complejidad estructural



Figura 2. Generación de refugios específicos relacionados con la talla y la formade las colonias de coral. A) *Acropora cervicornis* B) *Porites Porites* C) *Acropora palmata* D) *Dendrogyra cylindrus* e) *Orbicella annularis*. (créditos fotográficos A, D: Michael Del Rosario. B: Kevin Novelo. C, E, F: Guendulain).

provee información importante sobre la funcionalidad de cada colonia/tipo de coral, así como su importancia para el ecosistema en su totalidad.

No hace muchos años, niñas, niños y adultos por igual, nos maravillaba que el Santo, El Enmascarado de Plata se co-

municase con Blue Demon a través de su reloj de pulsera (Santo llamando a Blue Demon.....). La generación de imágenes 3D para el estudio de los corales produce el mismo asombro que el mítico reloj pulsera. Pitágoras, Arquímedes y numerosos científicos alrededor del mundo, deben de maravillarse de las posibilidades que trae

la incorporación del análisis de imágenes en 3D, al estudio de corales y arrecifes.

De manera particular, la posibilidad de describir cuantitativamente la complejidad estructural a nivel colonia, así como a nivel de arrecife resulta de gran importancia para entender los cambios potenciales, que el Cambio Climático, ocasionara en las funciones estructurales provocadas por la pérdida de especies clave en el arrecife, y así pavimentar el camino hacia su posible recuperación. El uso de estas nuevas herramientas 3D es relativamente nuevo, sin embargo es innegable su potencial en el estudio de los arrecifes de coral, con esto se han abierto nuevas líneas de investigación que están reponiendo importantes preguntas sobre la ecología, fisiología y la funcionalidad de los corales.

### Agradecimientos

Este trabajo forma parte del marco teórico del proyecto de doctorado de SDGG, sin embargo, la conceptualización completa no hubiera sido posible sin la adquisición, procesamiento y análisis de cerca de 800 modelos 3D de corales. Agradecemos a todas las instituciones y personas que hicieron posible este trabajo. De manera particular agradecemos al Smithsonian National Museum of Natural History, al Museo Nacional de Historia Natural de la República Dominicana y a El Colegio de la Frontera Sur por el acceso a sus colecciones de corales. A la Fundación Dominicana de Estudios Marinos (FUNDEMAR), por facilitar, equipo, insumos y salidas de campo. Así mismo, agradecemos a la Dr. Andrea Quattrinny, Carlos Zuriel, Patricia Torres Pineda y al Dr. Miguel Ángel Ruiz Zárate por su ayuda durante la consulta a las colecciones. También agradecemos a Alido Luis Baez, Juan Adrien Profet, Eduardo Ávila, Diego García Medrano, Michael Del

Rosario, y Rebeca García Campos por su asistencia en el trabajo de campo. El procesamiento de los modelos 3D se logró gracias al apoyo de Eduardo Ramírez-Chávez, Kyle Zawada, Cuauhtémoc Aparicio Cid, Ruben Olmo Gilabert, y Fernando Pardo. El título de este documento surgió gracias a discusiones con Camila Valverde sobre la morfología de los corales y las herramientas para aproximarla. SDGG recibió apoyo económico por parte del Smithsonian Institution's Kenneth Jay Boss Fellowship, por parte de IBEROSTAR-Wave of change, y recibió una beca por parte de CONACYT (no. 331792).

### Referencias bibliográficas

- Anelli, M., Julitta, T., Fallati, L., Galli, P., Rossini, M., & Colombo, R. (2019). Towards new applications of underwater photogrammetry for investigating coral reef morphology and habitat complexity in the Myeik Archipelago, Myanmar. *Geocarto International*, 34(5), 459–472. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1408703>
- Bellwood, D. R., Streit, R. P., Brandl, S. J., & Tebbett, S. B. (2019). The meaning of the term 'function' in ecology: A coral reef perspective. In *Functional Ecology* (Vol. 33, Issue 6, pp. 948–961). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13265>
- Combs, I. R., Studivan, M. S., Eckert, R. J., & Voss, J. D. (2021). Quantifying impacts of stony coral tissue loss disease on corals in Southeast Florida through surveys and 3D photogrammetry. *PloS One*, 16 (6), e0252593. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252593>
- Ferrari, R., Figueira, W. F., Pratchett, M. S., Boube, T., Adam, A., Kobelkowsky-Vidrio, T., Doo, S. S., Atwood, T. B., & Byrne, M. (2017). 3D photogrammetry quantifies

- growth and external erosion of individual coral colonies and skeletons. *Scientific Reports*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16408-z>
- Fukunaga, A., Burns, J. H. R., Craig, B. K., & Kosaki, R. K. (2019). Integrating three-dimensional benthic habitat characterization techniques into ecological monitoring of coral reefs. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7 (2), 27. <https://doi.org/10.3390/jmse7020027>
- Hernández-Landa, R. C., Barrera-Falcon, E., & Rioja-Nieto, R. (2020). Size-frequency distribution of coral assemblages in insular shallow reefs of the Mexican Caribbean using underwater photogrammetry. *PeerJ*, 8, e8957. <https://doi.org/10.7717/peerj.8957>
- Lange, I. D., & Perry, C. T. (2020). A quick, easy and non-invasive method to quantify coral growth rates using photogrammetry and 3D model comparisons. *Methods in Ecology and Evolution*, 11 (6), 714–726. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13388>
- Meiling, S., Muller, E. M., Smith, T. B., & Brandt, M. E. (2020). 3D photogrammetry reveals dynamics of Stony Coral Tissue Loss Disease (SCTLD) lesion progression across a thermal stress event. *Frontiers in Marine Science*, 7, 597643. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.597643>
- Reichert, J., Backes, A. R., Schubert, P., & Wilke, T. (2017). The power of 3D fractal dimensions for comparative shape and structural complexity analyses of irregularly shaped organisms. *Methods in Ecology and Evolution*, 8 (12), 1650–1658. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12829>
- Rocchini, C., Cignoni, P., Montani, C., Pinci, P., & Scopigno, R. (2001). A low cost 3D scanner based on structured light. *Computer Graphics Forum*, 20 (3), 299–308. <https://doi.org/10.1111/1467-8659.00522>
- Urbina-Barreto, I., Chiroleu, F., Pinel, R., Fréchon, L., Mahamadaly, V., Elise, S., Kulbicki, M., Quod, J. P., Dutrieux, E., Garnier, R., Henrich Bruggemann, J., Penin, L., & Adjeroud, M. (2021). Quantifying the shelter capacity of coral reefs using photogrammetric 3D modeling: From colonies to reefscales. *Ecological Indicators*, 121, 107151. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107151>
- Veal, C. J., Holmes, G., Nunez, M., Hoegh-Guldberg, O., & Osborn, J. (2010). A comparative study of methods for surface area and three dimensional shape measurement of coral skeletons. *Limnology and Oceanography: Methods*, 8 (MAY), 241–253. <https://doi.org/10.4319/lom.2010.8.241>
- Zawada, K. J. A., Dornelas, M., & Madin, J. S. (2019). Quantifying coral morphology. *Coral Reefs*, 38 (6), 1281–1292. <https://doi.org/10.1007/s00338-019-01842-4>