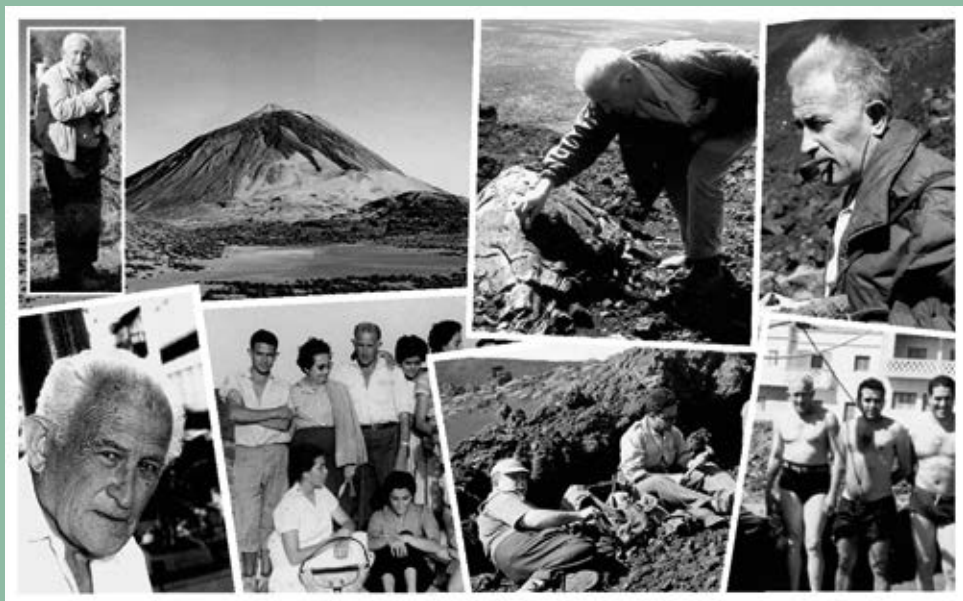


Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias

Matilde Arnay de la Rosa · Antonio Galindo Brito · Marcos Báez Fumero
Isidoro Sánchez García · Francisco J. Coello Bravo

Cien años de Don Tele

Celebrando y recordando al sabio y la persona



Actas IX Semana Científica Telesforo Bravo

Cien años de Don Tele

Celebrando y recordando al sabio y la persona

Editado
por
Julio Afonso-Carrillo

Actas IX Semana Científica Telesforo Bravo
INSTITUTO DE ESTUDIOS HISPÁNICOS DE CANARIAS
2014

© Los autores
© De esta edición: 2014, Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias,
C/. Quintana, 18. Puerto de la Cruz, Tenerife,
Islas Canarias, E-38400.

Diseño de la cubierta:
:rec retoque estudio creativo
www.retoqueec.com

Primera edición: septiembre 2014

Imprime:
Printisur, S.L.
CIF B76607506

Depósito Legal: TF 685-2014

ISBN: 978-84-617-1648-7

Presentación

La celebración del centenario del nacimiento de Telesforo Bravo, acaecido en el Puerto de la Cruz el 5 de enero de 1913, se plasmó en un nutrido programa de actividades culturales que se desarrollaron a lo largo de 2013 y que continuaron en los primeros meses del presente año. Fue el ayuntamiento de su ciudad natal, a través de su Concejalía de Juventud, el que inició en enero los actos del centenario con la exposición ‘El hombre que hablaba con las piedras’ en la que a través de objetos personales, fotos y documentos inéditos se invitaba a un recorrido por la polifacética personalidad y el lado más humano y desconocido del geólogo y naturalista portuense. Esta exposición, con vocación itinerante, recorrería en los meses posteriores la geografía insular haciendo partícipe de esta efeméride a muchísimos tinerfeños.

Además de las exposiciones, durante el año se organizaron rutas temáticas, conferencias, concursos, exposiciones y charlas, en los que participaron muchas personas que lo conocieron y que habían mantenido con él alguna vinculación ya sea de tipo profesional o personal. Detrás de todas estas iniciativas estuvo el colectivo “Amigos del Centenario” en el que familiares y amigos del científico se unieron para conseguir apoyos y divulgar el legado de este insigne portuense.

El Cabildo de Tenerife y varios ayuntamientos (entre otros Puerto de la Cruz, La Orotava y San Sebastián de La Gomera), así como numerosas instituciones participaron en la efeméride. La Universidad de La Laguna con una exposición en la Biblioteca de la ULL; el Instituto de Estudios Canarios y el Museo de la Naturaleza y el Hombre con ciclos de conferencias; el Centro de Educación Ambiental Municipal de la Villa de La Orotava con itinerarios temáticos por el Parque Nacional del Teide y con las XVI Jornadas de Formación Telesforo Bravo; el Liceo Taoro con una exposición colectiva; y el Instituto Volcanológico de Canarias con su

programas educativos "Canarias: una ventana volcánica en el Atlántico", y "La Noche de los Volcanes".

El Instituto de Estudios Hispánicos también participó activamente en los actos del Centenario. Por un lado, en el marco de la celebración de los Actos Conmemorativos del 12 de Octubre, con la exposición "Centenario del nacimiento de Telesforo Bravo (1913-2013). El hombre que hablaba con las piedras", y por otro, dedicando la temática de la Semana Científica que lleva su nombre a conmemorar la efeméride. No podía ser de otra manera, puesto que la historia del IEHC en sus primeros cincuenta años (1953-2003) permanecerá siempre estrechamente vinculada a la figura de Telesforo Bravo. Siempre mostró su disposición desinteresada a participar y colaborar en las más diversas actividades culturales, fue el alma mater de su vertiente científica y, además, se implicó activamente en la gestión de la institución, aspectos recogidos por Manuel Hernández González en su libro *"Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias 1953 – 2002. Medio siglo de historia cultural"*.

Telesforo Bravo ingresó en el IEHC como miembro de honor en julio de 1953, junto con el insigne botánico sueco Eric Sventenius, pocos meses después de la fundación oficial del instituto que tuvo lugar en febrero de ese mismo año. Sin embargo, la vinculación de Telesforo Bravo con la institución es anterior puesto que participó activamente con Celestino González Padrón (vicepresidente del Instituto) en actividades previas y en la creación de la "Sala de Arqueología Canaria Luis Diego Cuscoy" que fue inaugurada meses antes (marzo de 1953), simultáneamente con la sede del Instituto. Telesforo fue el responsable de la preparación y montaje de los materiales arqueológicos que se exhibieron en este museo, entre otros, su propia colección, procedente de exploraciones llevadas a cabo en Martiánez, Santa Úrsula y Las Cañadas; y las donadas por Celestino González y la familia Gómez.

La Sala de Arqueología del Instituto pretendía ser la primera piedra de un futuro Museo Arqueológico, que por diversas circunstancias, tardaría varias décadas en hacerse realidad. Los inicios fueron muy complicados y cinco años más tarde, en 1958 las dificultades económicas obligarían a su cierre. No sería hasta principios de los años ochenta, cuando con la llegada de los ayuntamientos democráticos, Celestino González y Telesforo Bravo encuentran en las autoridades locales la sensibilidad y el apoyo necesarios para reiniciar este proyecto museístico. Telesforo participó en las numerosas reuniones que a lo largo de la década de los ochenta fueron perfilando, tanto la creación del soñado museo arqueológico que contaba ya con un decidido apoyo popular, como las características del patronato que se encargaría de regir sus actividades. Para acoger los fondos del nuevo museo fue necesaria la adquisición y restauración por parte del Ayuntamiento de Puerto de la Cruz de una casona de estilo tradicional canario

situada entre las calles San Felipe y El Lomo. Y, finalmente, casi unos cuarenta años más tarde (en 1991), abrió sus puertas al público el Museo Arqueológico Municipal. Sus fondos incluyen, junto con varias donaciones particulares, los de “Sala de Arqueología Canaria Luis Diego Cuscoy” del IEHC, sin duda, el verdadero embrión del actual museo.

Después de su creación, la vinculación del IEHC con el Museo Arqueológico Municipal ha continuado siendo muy estrecha (el IEHC cuenta con representación en el Patronato y el secretario del IEHC ejerce de secretario del mismo). Telesforo Bravo perteneció al Patronato hasta el momento de su fallecimiento. En sus reuniones, solía expresar su opinión solo cuando se le solicitaba, mostrando siempre un profundo conocimiento de los temas a debate. Sus opiniones fueron siempre altamente valoradas y respetadas.

Las actividades de gestión de Telesforo en el IEHC se iniciaron allá por 1965 con su incorporación como vocal a la Junta de Gobierno. Después, en 1981 asumió la vicepresidencia de Asuntos Científicos, cargo que ocuparía hasta su fallecimiento. Como vicepresidente fue responsable de la organización de las “Semanas Científicas de Ciencias Naturales Flora y Fauna en América y Canarias” que en colaboración con el Instituto de Productos Naturales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) se iniciaron en 1982, y que contó con once ediciones, la última en 1992. El objetivo de estos ciclos de conferencias fue resaltar los vínculos y las diferencias que en los campos de la Botánica y la Zoología era posible establecer entre el archipiélago canario y América. A partir de la cuarta edición (1985) la temática se ampliaría para abarcar también el ámbito de la Geología. Estos ciclos permitieron al IEHC desarrollar su programación en la ciudad de La Laguna, puesto que las conferencias fueron impartidas por científicos especialistas de esos campos en el salón de actos del Instituto de Productos Naturales.

Una de las actividades más prolongadas en el tiempo de las realizadas por Bravo en el IEHC, y de las que además, solía mostrarse particularmente satisfecho, fue su participación en la docencia de los Cursos de Español para Extranjeros que organizan el IEHC y la Universidad de La Laguna. Su participación se inició en 1963 y continuó hasta el momento de su muerte. Durante unos cuarenta años Bravo compaginó sus disertaciones sobre la geografía, la geología y, en general, sobre la naturaleza canaria, con excursiones por diferentes lugares del archipiélago con el propósito de mostrar a los alumnos del curso una visión real de las islas, alejada de los tópicos y los estereotipos. Bravo en el aula era un docente excepcional (su condición de maestro resultaba evidente en todas sus intervenciones) y su objetivo primordial fue siempre dejarse entender, meta que aparentemente alcanzaba sin excesivo esfuerzo. Sus herramientas fueron la palabra (un lenguaje claro, conciso y siempre cercano) y las evidencias que aportaba la

naturaleza (que trasladaba al aula con su mítica colección de diapositivas). Explicaba los fenómenos naturales más complejos con un lenguaje tan sencillo y tan directo, que los hacía fácilmente comprensibles. Por eso sus lecciones lograron tanto éxito entre estos colectivos de extranjeros que se esforzaban por mejorar su español, y que disfrutaron de su magisterio y han conservado de Bravo un recuerdo imborrable.

Es muy probable que Telesforo Bravo sea el científico que más veces haya disertado en el salón de actos del IEHC. Siempre estuvo dispuesto para llevar a cabo una labor con la que disfrutaba y hacía disfrutar a los presentes. Sus conferencias fueron un claro ejemplo del papel que debe ser desarrollado por un divulgador científico, en una época en la que esta figura aún no había sido acuñada. En sus conferencias sus conocimientos eran expuestos con gran pasión, con entusiasmo y también con grandes dosis de socarronería y buen humor. Sus disertaciones estuvieron casi siempre acompañadas de sus inseparables pipas y su aromático tabaco holandés que iba impregnando el ambiente mientras los secretos de la naturaleza del archipiélago canario se iban desvelando. Fue un experto geólogo, pero también poseía notables conocimientos en geografía, botánica y zoología, todos cimentados sobre una sólida experiencia de campo. Con este bagaje de conocimientos, el “último naturalista canario” disertó con regularidad en el salón de actos del IEHC, donde fueron muchos los canarios que aquí lo escucharon por primera vez hablar de volcanes, lavas, rocas, acantilados, galerías, plantas o lagartos; y que Bravo transportaba con su verbo y sus imágenes (las diapositivas de Telesforo) a los más variados rincones del archipiélago. Quizá una de las conferencias que causó mayor impacto fue la que impartió en diciembre de 1971 sobre la erupción del Teneguía que acababa de acontecer en la isla de La Palma, la cual tuvo la oportunidad de presenciar e investigar.

Fue una conferencia de Telesforo la que inició en julio de 1995, con ocasión de las fiestas patronales de Puerto de la Cruz, el ciclo que bajo el lema “Historia de Puerto de la Cruz” se ha mantenido hasta la actualidad. Un amplio resumen del contenido de su intervención, con el título “*El valle de La Orotava, Tenerife. Erupción de 1430, tradición guanche*” fue publicado años más tarde, en 2001, en el número 2 de la revista *Catharum*. Este artículo tiene un inestimable valor, no solo porque constituye la última de las publicaciones firmadas por Bravo, sino además porque constituye un fiel reflejo del estilo de sus disertaciones: una conferencia de Telesforo. Nos describe como era el Puerto de la Cruz antes de las erupciones de los volcanes situados en el valle (La Horca, La Montañeta y Las Gayanías). Algunas de sus frases dan una idea de la proximidad de sus comentarios: “... en el lugar ocupado hoy por la Plaza del Charco, existió otro bajío respaldado por un acantilado, el de Las Dehesas que se prolonga hasta el camino del Burgado”. También: “El barranco de Salinas en la anterior

topografía debía de cruzar por debajo de la actual montaña de La Horca hacia el barrio de Las Cabezas y bajar por la calle de Blanco hasta la actual plaza del Charco, donde desembocaba”. O esta otra: “Un ejemplo de vivienda aborigen fue descubierto en el barrio de Las Cabezas, al hacerse una *sorriba* en las lavas que bajaban desde El Taoro. En mi casa, tal vez por los años veinte de este siglo se comentó el hallazgo de un ajuar con productos como ‘manteca de ganado’ y cereales en gánigos”. Así eran las conferencias de Telesforo y ese espíritu divulgativo es el que queremos mantener vivo en las semanas científicas instauradas por el IEHC para recordar y homenajearlo.

Como en años anteriores, la Semana Científica desarrolló su programa, en el salón de actos de nuestra sede, entre el lunes 11 y el viernes 15 de noviembre, con sesiones todos los días de 19:30 a 21:00 horas. Previamente a la primera conferencia, el presidente del IEHC, Nicolás Rodríguez Muzenmaier, realizó la presentación del ciclo, y seguidamente, los organizadores, Jaime Coello Bravo y Julio Afonso Carrillo, detallaron las peculiaridades, tanto de la programación científica, como del libro de actas del ciclo anterior, *‘El Hierro: nacimiento de un volcán’*. El conjunto de conferencias programadas fue el siguiente:

Lunes, 11 noviembre 2013.

Matilde Arnay de la Rosa: “Las observaciones arqueológicas de un naturalista”.

Martes, 12 noviembre 2013.

Antonio Galindo Brito: “Defensa química de las plantas”.

Miércoles, 13 noviembre 2013.

Marcos Báez Fumero: “Impresiones de un biólogo viajero”.

Jueves, 14 noviembre 2013.

Isidoro Sánchez García: “Telesforo Bravo, maestro de la convivencia”.

Viernes, 15 noviembre 2013.

Francisco Javier Coello Bravo: “Telesforo Bravo, una vida buscando agua”.

En esta publicación se han reunido los contenidos de cada una de estas conferencias.

En la primera sesión, Matilde Arnay de la Rosa resaltó que de Telesforo Bravo se ha valorado su excepcional dimensión como naturalista y que sus valiosas contribuciones en Geología, Vulcanología, Hidrogeología o Paleontología han tenido merecido reconocimiento. Sin embar-

go, el conjunto de aportaciones realizadas a lo largo de su fructífera vida científica en Arqueología ha sido escasamente discutido y, con frecuencia, reducido a una mera afición personal por los guanches y su cultura. Para Arnay, sin embargo, las observaciones arqueológicas realizadas por Bravo han tenido repercusión en el desarrollo de algunos estudios arqueológicos canarios y, por tanto, forman parte de la Historia de la Arqueología de nuestro Archipiélago. Nos explicó las primeras aportaciones arqueológicas de Telesforo (acantilados de Martiánez y de Santa Úrsula; Las Cañadas del Teide), su participación en la creación del Museo Arqueológico del Instituto de Estudios Hispánicos y su colaboración con el Departamento de Arqueología y Prehistoria de la Universidad de La Laguna. Como contribuciones arqueológicas más relevantes destacó el descubrimiento y descripción de una estructura tallada en la roca (“Quesera de Bravo”) en Lanzarote y los grabados del Roque de Teneguía en La Palma.

En la segunda sesión, Antonio Galindo Brito, que tantas veces ha intervenido en el salón de actos del IEHC, seleccionó un tema de su especialidad (Química Orgánica) para rendir homenaje a este excepcional portuense con el que compartió la amistad. Galindo nos explicó que en su hábitat natural, las plantas se hallan rodeadas de un enorme número de enemigos potenciales, y puesto que carecen de movimiento y no pueden huir de herbívoros y patógenos, efectúan su protección a través de otros caminos. Así, la primera línea de defensa de las plantas está constituida por su superficie (cutícula y peridermis), a la que se suma un amplio grupo de compuestos comúnmente conocidos como metabolitos secundarios. Pertenecen a tres grupos con características químicas diferentes (terpenos, fenoles y compuestos nitrogenados) y todos juegan funciones ecológicas trascendentales, sin las que no podríamos entender la vida, tal cual la conocemos.

En la tercera sesión, Marcos Báez Fumero dedicó su intervención a comentar sus impresiones, recogidas en múltiples viajes por todo el mundo, sobre Parques Nacionales que ostentan esta distinción por sus valores geológicos, paisajísticos y biológicos, como una forma de rendir homenaje al insigne naturalista que fue Telesforo Bravo. Báez reconoció que este interés por la Naturaleza es en parte producto de la influencia y enseñanzas que Bravo inculcó a sus alumnos. En el artículo realizó un recorrido por una selección de veinte Parques Nacionales, repartidos por los cuatro grandes continentes, señalando algunas de las características más notables de cada uno de ellos. La grandiosidad de la naturaleza resultó evidente en los diez parques americanos, cuatro europeos, tres africanos y tres asiáticos, cuyo paisaje (montañas, volcanes, géiseres, cañones, lagos, ríos, glaciares, cascadas), flora y vegetación (tundra, taiga, bosque de coníferas, selva tropical) y fauna (mamíferos, aves, reptiles, anfibios, peces, insectos) nos fue presentada ordenadamente, a través de lugares tan míticos como

Yosemite, Gran Cañón, Yellowstone, Iguazú, Perito Moreno, Skaftafell, Etosha o Monte Fuji.

Isidoro Sánchez García intervino en la cuarta jornada y nos expuso sus vivencias y reflexiones sobre la figura de profesor Telesforo Bravo. Reconoce su condición de alumno privilegiado por haberlo tenido durante cuarenta años como maestro en los que le enseñó que convivir es mucho más que coexistir; es simbiosis, donde el respeto mutuo, la aceptación de las reglas de juego y la comunicación permanente, basada en el afecto y la tolerancia, permiten compartir en armonía las diferentes situaciones de la vida. Sánchez describió sus vivencias con Telesforo, desde las míticas caminatas con la Peña Baeza, en las que empezó a conocer al naturalista de campo y aprendió a convivir con los espacios naturales protegidos, entre las que se incluye la excursión a El Hierro de 1969. También nos mostró sus impresiones fruto de compartir horas de reuniones en los patronatos de los Parques Nacionales del Teide y Garajonay. Por último nos presentó como un recuerdo muy especial las inolvidables clases magistrales que Telesforo impartió en septiembre de 1999 a la Asociación Humboldt de España, en el Portillo y en Boca de Tauce.

En la quinta sesión, Francisco Javier Coello Bravo nos presentó una detallada revisión de la relación que Telesforo Bravo mantuvo con el mundo del agua y sus principales contribuciones en este campo, una faceta que según el autor, no ha sido hasta el momento suficientemente resaltada ni valorada. Los logros en la búsqueda, explotación y planificación del agua fueron expuestos haciendo un recorrido por su biografía donde se resaltaron algunos hitos como la estancia en Madrid, el trabajo en Irán, el conocimiento de sistemas de extracción de agua subterránea como el “Qanat”, la colaboración con el geólogo Juan Coello, o su relación profesional y personal con el Heredamiento de Las Haciendas de Argual y Tazacorte. Coello destacó que tanto Bravo como Coello fueron magníficos hidrogeólogos que daban una gran importancia al trabajo de campo, de ahí su éxito en el asesoramiento a administraciones públicas e iniciativa privada. Por último, destacó documentos en los que Bravo mostraba su posición en defensa de un uso racional en la gestión y explotación del agua; y analizó el problema de las emanaciones de gases en las galerías y las principales contribuciones de Telesforo en este tema.

Como en ciclos anteriores, tanto las jornadas como esta publicación, han contado con el patrocinio de la FUNDACIÓN MAPFRE GUANARTEME. Nuestro agradecimiento a nuestros patrocinadores, cuya sensibilidad es fundamental para mantener este continuado proyecto de homenaje a Telesforo Bravo. También el agradecimiento a todos los conferenciantes, que aceptaron la invitación para participar en la semana científica, y han preparado desinteresadamente los artículos que aparecen publicados en estas páginas. Por último, dejar constancia de que en la organización del

ciclo de conferencias participaron Jaime Coello Bravo, Juan Jesús Coello Bravo, Jerónimo de Francisco Navarro, Iris Barbuzano Delgado y el autor de estas líneas, y contó con la colaboración de la Fundación Telesforo Bravo–Juan Coello.

En el año del centenario del nacimiento de Telesforo Bravo quedó nuevamente patente el cariño con que cada año es acogido este ciclo con masiva asistencia de público en cada jornada. A todos, el agradecimiento del IEHC. Esta publicación mantiene vivo el homenaje de reconocimiento y de recuerdo del IEHC hacia Telesforo Bravo.

Julio Afonso Carrillo
Vicepresidente de Asuntos Científicos del IEHC

ÍNDICE

Págs.

1. Las observaciones arqueológicas de un naturalista, por MATILDE ÁRNAY DE LA ROSA	13 – 38
2. Metabolitos secundarios y defensas de las plantas, por ANTONIO GALINDO BRITO	39 – 80
3. Un paseo por los Parques Nacionales del mundo, por MARCOS BÁEZ FUMERO	81 – 106
4. Telesforo Bravo, maestro de la convivencia, por ISIDORO SÁNCHEZ GARCÍA.....	107 – 134
5. Telesforo Bravo, una vida a la búsqueda del agua, por FRANCISCO JAVIER COELLO BRAVO	135 – 154

1. Las observaciones arqueológicas de un naturalista

Matilde Arnay de la Rosa

*Departamento de Geografía e Historia,
Unidad docente e investigadora de Prehistoria, Arqueología e
Historia Antigua, Universidad de La Laguna
matarnay@ull.es*

En las biografías publicadas sobre Telesforo Bravo Expósito (Coello Bravo, 2007) se ha señalado su excepcional dimensión como naturalista y maestro de naturalistas, destacando sus grandes contribuciones a la geología, la vulcanología, la hidrogeología o la paleontología. En estos campos del saber sus trabajos han tenido un merecido reconocimiento. Cabe mencionar como ejemplo representativo su teoría sobre los deslizamientos gravitacionales en la formación de Las Cañadas del Teide. Sin embargo, las observaciones arqueológicas que realizó a lo largo de su dilatada vida como científico han sido prácticamente ignoradas en su auténtica dimensión, quedando sólo un vago recuerdo de su afición por “los guanches” y su cultura.

En este trabajo daré a conocer alguna de las contribuciones que Bravo hizo a la arqueología canaria. Trataré de demostrar en las siguientes páginas que, entendiéndolas en su contexto histórico, sus observaciones arqueológicas han tenido también repercusión en el desarrollo de algunos estudios arqueológicos canarios y, por tanto, forman parte de la Historia de la Arqueología en nuestro Archipiélago.

El contenido del trabajo lo he estructurado en tres apartados. Una primera parte tratará sobre las primeras observaciones arqueológicas

llevadas a cabo en los acantilados de Martiánez y Santa Úrsula, y Las Cañadas del Teide, etapa que culmina con su participación en la creación del Museo Arqueológico del Instituto de Estudios Hispánicos del Puerto de la Cruz, en 1953. La segunda parte la centraré en su colaboración con los fundadores e integrantes del Departamento de Arqueología y Prehistoria de la Universidad de la Laguna, a partir de 1969. Finalmente, destacaré algunas de las observaciones arqueológicas más relevantes de Don Telesforo, por la importancia que tuvieron para el devenir disciplinar de la Arqueología en el Archipiélago.

La Arqueología es actualmente una rama del conocimiento de carácter eminentemente interdisciplinar, ligada a los estudios de Historia. Como campo científico ha evolucionado de forma espectacular en los cien años transcurridos desde el nacimiento de Telesforo Bravo. Si hay una característica clara que define a la arqueología actual es la interdisciplinariedad, la intensa relación que sus profesionales mantienen con otros científicos y el grado de sofisticación técnica que ha alcanzado su trabajo. Es ese carácter eminentemente interdisciplinar el que nos permite, por ejemplo, abordar el estudio del ADN antiguo por procedimientos de la genética molecular (Maca-Meyer *et al.*, 2004; Fregel *et al.*, 2009) o analizar la dieta de las poblaciones antiguas a partir de la determinación de oligoelementos o isótopos estables en muestras óseas (Arnay *et al.*, 2011). Los actuales procedimientos microscópicos y químicos hacen posible conocer los micro-residuos atrapados en el sarro de los dientes o los parásitos contenidos en restos intestinales aborígenes momificados (Afonso, 2011). Botánicos especializados en plantas actuales y pasadas examinan todo tipo de restos vegetales recuperados en los contextos arqueológicos para determinar la especie o el género y su condición de silvestre o cultivada, destacando los estudios de pólenes, semillas y fitolitos (Morales, 2010; Afonso, 2011).

Los análisis arqueométricos de las distintas evidencias arqueológicas han supuesto un avance inestimable en el conocimiento de las sociedades del pasado, proporcionando datos de gran interés sobre la caracterización de los materiales líticos, cerámicos y óseos. Existen en la actualidad innumerables sistemas científicos para datar los materiales antiguos, como el paleomagnetismo, la termoluminiscencia o los procedimientos radiométricos (García-Díez & Zapata, 2013).

Uno de los campos de mayor desarrollo en los últimos años tiene que ver con los propios métodos de prospección y excavación de los yacimientos, de manera muy significativa en la denominada Arqueología del Territorio, donde se aplican las más novedosas técnicas de reconocimiento del terreno o la utilización de los SIG, los Sistemas de Información Geográfica, que han supuesto una auténtica revolución en los estudios de la distribución espacial de los yacimientos en todos sus niveles de conocimiento (García-Sanjuán, 2005).

En estos cien años transcurridos desde el nacimiento de Telesforo Bravo en 1913, el número de yacimientos arqueológicos conocidos en Canarias ha aumentado de forma extraordinaria, en todas sus manifestaciones: yacimientos sepulcrales, espacios habitacionales o enclaves relacionados con el mundo mágico-simbólico. Al registro arqueológico conocido de la etapa preeuropea se ha ido incorporando el procedente de excavaciones de sitios de los siglos XVI, XVII y sobre todo, XVIII, que han enriquecido el conocimiento de esas etapas históricas a partir del estudio de la materialidad y han supuesto además el desarrollo de una nueva e importante faceta de la investigación arqueológica en Canarias, la llamada “Arqueología Histórica” (Arnay, 2009) (Fig. 1).



Fig. 1. Conjunto de materiales del siglo XVIII recuperados en la excavación arqueológica de La Iglesia de La Concepción de Santa Cruz de Tenerife (1993-1995).

Sin embargo, cuando Telesforo Bravo nace el día 5 de enero de 1913, en el pequeño pueblo de pescadores que era entonces el Puerto de la Cruz, la “arqueología” que existía era completamente diferente al concepto de la disciplina que he descrito. En 1913 las actividades arqueológicas eran herederas directas de los cánones epistemológicos del siglo XIX. La “arqueología” que comenzaba a fraguarse con gran entusiasmo en los medios intelectuales del Archipiélago a finales del siglo XIX, no estaba

relacionada con los estudios de Historia, sino que formaba parte de la Historia Natural. En ese marco de integración hay que entender la obra del gran naturalista francés Sabino Berthelot (Marsella, 1794 - Santa Cruz de Tenerife, 1880), que hoy es considerado por la historiografía canaria como el precursor de los estudios de la Arqueología científica en el Archipiélago. Su obra *Antigüedades Canarias* (*Antiquités canariennes*) es una de las primeras obras canarias con contenido arqueológico, donde se muestran y analizan repertorios materiales y yacimientos (Navarro Mederos, 1997; Berthelot, 1980) (Fig. 2). Sin embargo, Berthelot fue sobre todo un naturalista, cuya obra magna fue la *Histoire Naturelle des Iles Canaries* (1836-1859) que realizó en colaboración con el también naturalista inglés Philip Barker Webb. Berthelot participó en la *Phytographia Canariensis* (1836-1850) y en la *Zoologie* (1836-1843), aunque su principal aportación se centró en cuatro de las seis partes de la obra: *La Géographie descriptive, la Statistique et la Géologie* (1835); *Miscellaneés* (1839); *L'Etnographie et les Annales de la Conquête* (1840); y *La Géographie Botanique* (1840).

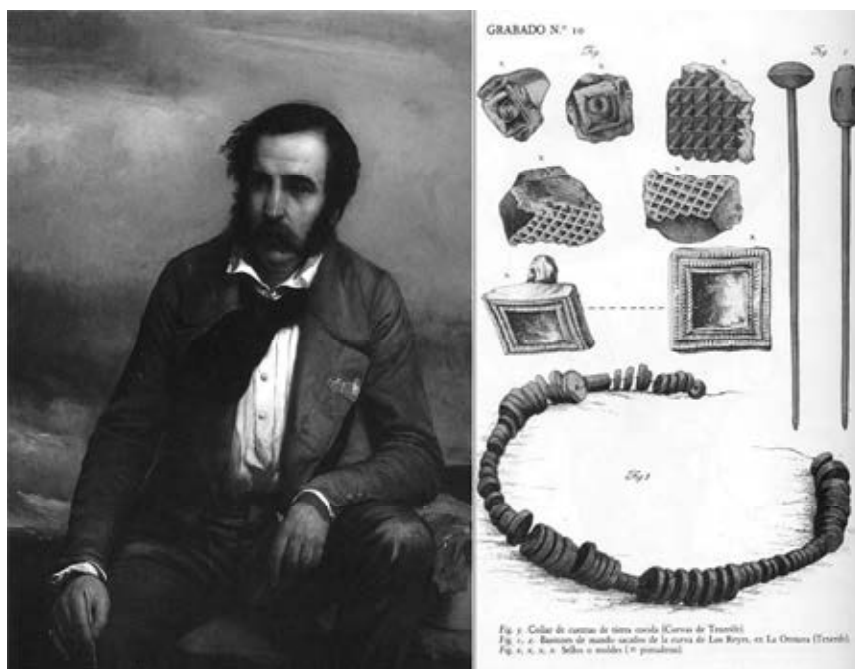


Fig. 2. Retrato de juventud de Sabino Berthelot (Museo Municipal de Santa Cruz de Tenerife). En su obra *Antigüedades canarias* se muestran materiales arqueológicos, destacando las cuentas de barro cocido.

El naturalista francés desarrolló una activa labor investigadora en Canarias e intervino en los principales eventos culturales y científicos e

incluso económicos (expansión de la cochinilla, declaración de puertos francos de las Islas), siendo declarado hijo adoptivo de Santa Cruz de Tenerife en 1876. Fallece en Santa Cruz de Tenerife y sus restos reposan en el abandonado cementerio de San Rafael y San Roque de la ciudad (Cioranescu, 1980; Estévez, 1987; García-Pulido, 2000).

Don Telesforo Bravo, como buen naturalista, conoció muy bien la obra de Sabino Berthelot, de quien fue un gran admirador y cuya influencia siempre reconoció. Y así lo expresó en un artículo publicado en 1980 con motivo de las celebraciones del centenario del fallecimiento del naturalista francés: *“la influencia de Berthelot en el estudio de las Ciencias Naturales de Canarias se extiende hasta la presente centuria”* (Bravo & Coello, 1980).

La estrecha vinculación de la Arqueología, sobre todo de la Arqueología Prehistórica, con las Ciencias Naturales a principios del siglo XX tiene mucho que ver con sus comienzos como disciplina científica, ligada indisolublemente a los avances de la Geología (la Estratigrafía), la Paleontología o la Antropología Física (Díaz-Andreu, 2002). Pero también hay que entenderla como fruto de las corrientes de pensamiento que sustentan los complejos procesos históricos de la Modernidad en Occidente y su expansión colonial. Recordemos el arraigado concepto decimonónico de considerar a los pueblos “sin Historia” más cercanos a los elementos naturales que los civilizados “pueblos con Historia” (Trigger, 1992; Fernández, 2006). De esa concepción deriva que las colecciones de Arqueología y Etnología se situaran en los museos de Historia Natural y no junto a las antigüedades europeas o del Próximo Oriente, que estarían integradas en los museos de Arte o Historia. Esa antigua división museística es la que explica que aún persista una visión histórica segregada en distintos espacios, como es el caso en Tenerife de El Museo de la Naturaleza y El Hombre, en Santa Cruz, que aloja el material arqueológico relacionado con los guanches, mientras que el Museo de Historia, en La Laguna, expone lo acaecido a partir de la conquista de la isla.

La relación directa de la Arqueología y las Ciencias Naturales la podemos apreciar también en los objetivos e intereses de los distintos Gabinetes de Historia Natural y los museos asociados que se crean en Canarias a finales del siglo XIX y que destinan una parte preferente a los contenidos arqueológicos. Tal es el caso de la primera sociedad que surge en el Archipiélago, el Gabinete Científico de Santa Cruz de Tenerife, fundado en 1877, y cuyo principal responsable fue el médico Juan Bethencourt Alfonso (San Miguel de Abona, 1847 – Santa Cruz de Tenerife, 1913). La institución nació como anexo al Establecimiento de Segunda Enseñanza ante la necesidad de disponer de un Museo para las prácticas de los alumnos. En su Reglamento de 1878, se especificaba que, entre otros objetivos, estaba *“el estudio de la ciencia natural y especialmente el del*

Archipiélago Canario bajo ese punto de vista". La institución reunió importantes colecciones arqueológicas y antropológicas, no solo de Tenerife sino también de otras islas del Archipiélago, que más tarde pasaron al Museo Antropológico y de Historia Natural de Santa Cruz de Tenerife (1902), al Museo Municipal y finalmente al Museo Arqueológico de Tenerife (Ramírez, 1997, 2006: 134; Farrujia, 2010).

El Museo Canario de Las Palmas de Gran Canaria se fundó poco después, en 1879, bajo la dirección del también médico Gregorio Chil y Naranjo (1831-1901) (AAVV, 2001). Esta institución nació igualmente como un Museo de Historia Natural, con la finalidad de reunir: "*colecciones sistemáticas de la mineralogía, paleontología, botánica, zoología, antropología y arqueología del Archipiélago*" (Ramírez, 2006: 52).

Los Gabinetes de Historia Natural ligados a la enseñanza, como el del Instituto de Canarias, actual Instituto Canarias Cabrera Pinto, albergaron también junto a los especímenes de Historia Natural, importantes colecciones arqueológicas y antropológicas. Colecciones que, sin duda, fueron disfrutadas por Telesforo y su hermano Ventura en su paso como estudiantes por esa institución docente. Algunos de esos objetos arqueológicos se exponen hoy, intentando recordar el antiguo ambiente de gabinete del siglo XIX, en una pequeña sala que recibe el nombre de Anatael Cabrera Díaz (Arnay & García, 2009) (Fig. 3).

Ese concepto de Arqueología ligado exclusivamente a la Historia Natural es el que conoció, heredó y desarrolló Don Telesforo Bravo a lo largo de toda su vida: una arqueología que formaba parte de la Naturaleza, que observaba como un fenómeno más de las fuerzas naturales que integraban el paisaje, un paisaje que él trataba de aprehender en su totalidad, como ilustra el contenido de esta carta que escribió en 1938 siendo soldado, donde relata las observaciones hechas en las trincheras:

"Caminando por las trincheras no me aburro, los cantos de sílex rodados son de magníficos colores, sonrosados, verdes, moteados de todos los colores imaginables. Hace un momento encontré un gran depósito de cenizas en la profundidad de una trinchera. Tiene huesos, trozos de útiles de barro cocido, piedras que tienen forma de polígonos, varias muy iguales, puntas de flecha, aunque a dos metros de profundidad no sé si tendrá la antigüedad deseada..." (Coello Bravo, 2007: 41).

El concepto de Arqueología como parte de las observaciones de la Naturaleza se manifiesta de forma patente en la manera que tuvo Don Telesforo de estructurar el contenido de los distintos capítulos de una de sus grandes aportaciones, la "*Geografía General de las islas Canarias*" (1954-1964). Los dos libros publicados recogen en distintos capítulos las características geográficas de las islas que trata. Cada uno de los apartados

dedicados a la descripción de una isla, cierra con un capítulo monográfico sobre los aborígenes de esa isla y sus distintas manifestaciones culturales, aportando en muchas ocasiones imágenes de los materiales arqueológicos que consideraba más significativos, muchos de ellos fruto de sus propias observaciones, como en el caso de Gran Canaria.



Fig. 3. Actual sala de Arqueología y Antropología “Anatael Cabrera Diaz”. Instituto Cabrera Pinto de La Laguna.

Cuando Don Telesforo nace en 1913, la Arqueología, como hemos visto, muy ligada a la Historia Natural, carecía también de un cuerpo metodológico sólido como el que tiene actualmente. Basta recordar que los intelectuales que abordaban entonces la incipiente investigación arqueológica procedían de campos científicos muy diversos, siendo mayoritariamente médicos en Canarias, como fue el caso de Gregorio Chil y Naranjo, Juan Bethencourt Alfonso o Victor Grau Bassas. Pero la arqueología canaria no sólo tenía las deficiencias metodológicas propias de la época (Glyn Daniel, 1986), sino que además, para el caso de la isla de Tenerife, la actividad arqueológica había cesado casi por completo tras la muerte de Juan Bethencourt Alfonso, que ocurre también en 1913. Sólo la búsqueda de restos humanos y el interés de los antropólogos físicos, mayoritariamente extranjeros, mantienen ciertas actividades arqueológicas, muy controvertidas en algunos casos, como las del profesor de Harvard E.

A. Hooton que trabajó en Tenerife en 1915 como parte de un proyecto de investigación antropológica y arqueológica mucho más amplio, y cuyo objetivo era el estudio de todo el Norte de África (Hooton, 2005).

Como explica con acierto Luis Diego Cuscoy: “*El Gabinete de Historia Natural cierra y la activa política arqueológica emprendida por el Doctor Bethencourt cesa y hay que esperar hasta 1942 para ver una reactivación de las labores arqueológicas en la isla*” (Diego, 1982).

En efecto, en 1942, después de la Guerra Civil Española, se crean las Comisarías Arqueológicas Provinciales y comienza la institucionalización de la Arqueología en España y en Canarias (Navarro y Clavijo, 2001). Al frente de la Delegación Provincial de Excavaciones Arqueológicas de Santa Cruz de Tenerife estaría Luis Diego Cuscoy, futuro Director del Museo Arqueológico de Tenerife, con quien Don Telesforo mantendría una estrecha colaboración en los inicios de sus actividades arqueológicas (Navarro & Clavijo, 2011).

Las primeras observaciones arqueológicas en las laderas de Martiáñez y los Acantilados de Santa Úrsula.

La creación del Museo del Instituto de Estudios Hispánicos del Puerto de la Cruz

Como se ha destacado en las distintas biografías dedicadas a la figura científica de Telesforo Bravo, las observaciones que desde muy joven realizó en las laderas de Martiáñez supusieron el inicio de su vocación como naturalista. Allí descubrió el *Lacerta máxima* y el *Canariomys bravori*, especies que siguen siendo de gran interés para la arqueología canaria, ya que sus restos han aparecido en distintos yacimientos arqueológicos, como es el caso de Buenavista del Norte, identificándose incluso en alguno de ellos posibles marcas de corte de naturaleza antrópica (Galván *et al.*, 1999). El debate arqueológico prosigue aún hoy, centrado en dilucidar hasta qué punto convivieron estos animales con los antiguos habitantes de Canarias y fueron usados como recurso alimenticio (Rando *et al.*, 2012).

Las primeras observaciones arqueológicas también las hizo Telesforo Bravo en los acantilados de Martiáñez, en las numerosas cuevas que utilizaron los aborígenes como espacios habitacionales y funerarios. Las primeras incursiones las realizó buscando “cuentas de arcilla”, objetos que habían despertado gran interés en los inicios de la arqueología en Canarias. En la correspondencia mantenida entre Gregorio Chil y Naranjo y Juan Bethencourt Alfonso podemos apreciar ese particular interés: “...*Me pregunta V. si conozco el origen de los guanches (...) Los guanches de Tenerife, con sus punzones de hueso y sus cuentas de arcilla, idénticas a las*

encontradas en el dolmen de l'Ardeche, a las de Lozere y otros; con sus molinillos de mano, pequeños cuchillos de obsidiana, garrotes más o menos groseros y objetos de cerámica que atestiguan una industria casi naciente (...)." (Farujia, 2010: 99).

La obra de Berthelot contribuyó también a despertar su curiosidad por las "cuentas de collar", cuya representación gráfica ocupaba una posición destacada en la selección de materiales que publicó el autor (Fig. 2). Estas pequeñas cuentas perforadas siempre formaban parte de las antiguas colecciones arqueológicas que se reunían para ser expuestas en los Gabinetes Científicos. El mismo Luis Diego Cuscoy se inició en las labores arqueológicas, como se sabe, prendado de estos singulares objetos de barro, dedicándole incluso un capítulo, "*El Collar de las cuentas de barro*" en su libro "*Entre Pastores y Ángeles*" (1941), donde relata la primera descripción de una cueva guanche (Clavijo, 2004: VIII-XIX). Las cuentas serían más tarde el objeto de uno de sus primeros trabajos en 1943, *Adornos de los guanches. Las cuentas de collar* (Navarro & Clavijo, 2011: 61).

Las primeras exploraciones arqueológicas de Don Telesforo se extendieron también a las cuevas de los acantilados de Santa Úrsula, de la Quinta Roja. De esa zona hay que destacar algunos hallazgos notables, como un nutrido conjunto de cuentas de concha (conus) y la descripción por primera vez de unas cuentas de vidrio aparecidas en contextos indígenas. Hoy estas cuentas aparecen con frecuencia en los yacimientos arqueológicos de las islas y constituyen un elemento esencial para estudiar los mecanismos de contacto e intercambio entre los aborígenes canarios y los primeros europeos y profundizar en el complejo mundo de la interrelación cultural (Baucells, 2010). Los objetos recogidos por Bravo pasarían posteriormente a formar parte de las colecciones del antiguo Museo del Instituto de Estudios Hispánicos del Puerto de la Cruz. Junto a las cuentas perforadas también hizo acopio de otros objetos arqueológicos, destacando un importante conjunto de restos de vasos cerámicos que se exhibirían en el mismo museo (Fig. 4).

Las exploraciones arqueológicas en los abruptos e inaccesibles parajes de los acantilados las hacía Telesforo Bravo solo o en compañía de su gran amigo José Manuel García Borges, estando también presente en algunas ocasiones Luis Diego Cuscoy. A los tres les unía entonces no solo el interés arqueológico, sino la profesión de maestro. Es conocido que Diego padecía de vértigo, por lo que la exploración de las cuevas más inaccesibles corría a cargo casi siempre de Bravo, de quien también se ha valorado su fortaleza física. Según las palabras recogidas por Celestino González Padrón, que fue Delegado Local de Excavaciones Arqueológicas del Puerto de la Cruz en 1959, puesto que antes había ocupado Luis Diego:

"Sólo el arrojo y entusiasmo de Telesforo Bravo y José Manuel García Borges han podido vencer las dificultades que

representa el llegar a muchas de ellas, pendientes de una cuerda...” (González, 1956: 10).

Con José Manuel García Borges también se relaciona el descubrimiento de la extraordinaria riqueza arqueológica de Las Cañadas del Teide. Según relataba el propio Telesforo Bravo, y recogen Juan Francisco Navarro y Miguel Ángel Clavijo en la edición comentada del libro de Los Guanches de Luis Diego Cuscoy de 2008, fue en la zona conocida como La Cañada Blanca donde se produjo ese primer contacto arqueológico:

“Un grupo de soldados destacados durante la Segunda Guerra Mundial en la batería de artillería de costa de Santa Úrsula acostumbraban a subir a Las Cañadas en busca de leña para cocinar. Mientras la recolectaban descubrieron unas vasijas y unos molinos. Mandaba la batería el capitán Manuel García Borges, que antes de la Guerra Civil había sido maestro de escuela, colega y amigo personal de Telesforo Bravo y Luis Diego Cuscoy, a quienes confió el descubrimiento” (Navarro & Clavijo, (2008: 201, nota a pie 112).

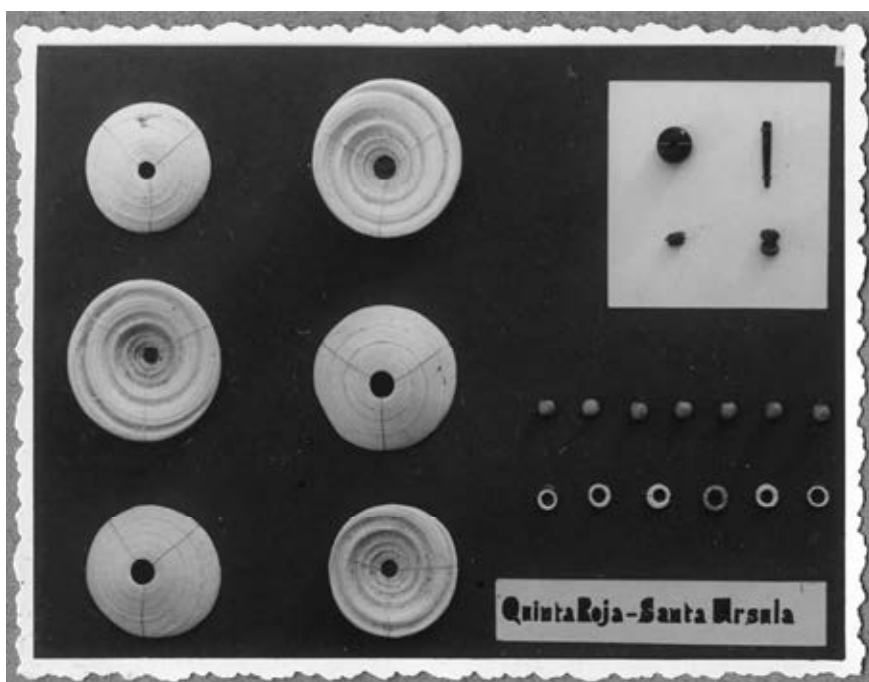


Fig. 4. Panel con cuentas de *conus* y de vidrio procedentes de la Quinta Roja, Santa Úrsula, tal como se expuso en 1953 en el Museo del Instituto de Estudios Hispánicos.

Ambos efectuaron entonces un primer reconocimiento y, en 1945, Luis Diego Cuscoy, que ya era colaborador de la Comisaría Provincial de Excavaciones Arqueológicas, planificó la primera de una larga serie de actuaciones arqueológicas en Las Cañadas del Teide, que recogería en diversas publicaciones (Álvarez, 1947; Diego, 1953).

Don Telesforo continuó con las exploraciones arqueológicas en Las Cañadas, en compañía de otros dos grandes amigos: Celestino González Padrón y Eric Sventenius. Fue entonces la época de las excursiones científicas programadas, donde se manifestaba el carácter esencialmente naturalista de las mismas y en las que se hacían observaciones geológicas, botánicas, entomológicas y arqueológicas (González-Reimers, 2013). Según nos relata el propio Celestino González: *“Nuestro amigo, el naturalista Don Telesforo Bravo, nos enseñó la ‘técnica’ de buscar ‘escondrijos’ y explorar cuevas”* (González, 1956) (Fig. 5).

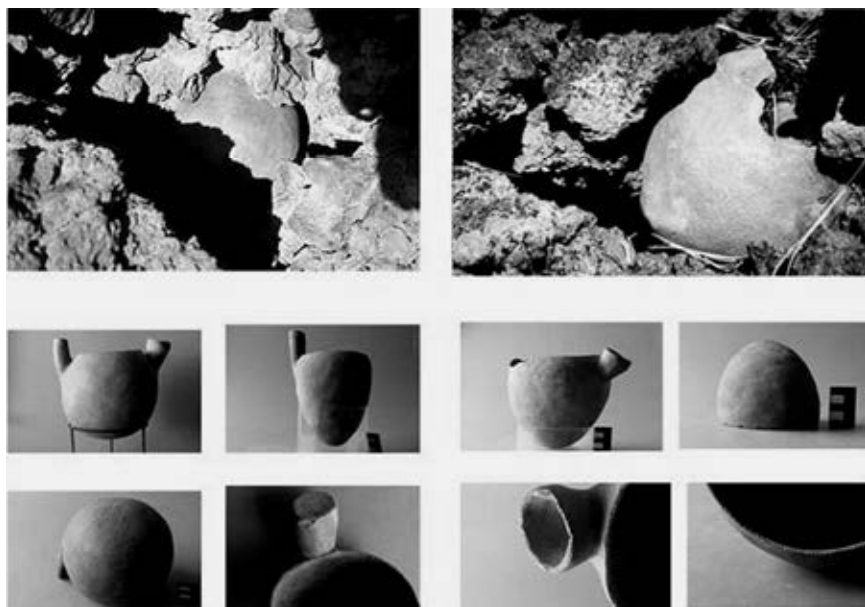


Fig. 5. Vasos cerámicos perfectamente preservados en escondrijos de Las Cañadas del Teide.

De esos escondrijos se extrajeron vasos cerámicos en muy buen estado de conservación que pasaron a formar parte del Museo del Instituto de Estudios Hispánicos y que hoy se preservan en el Museo Arqueológico del Puerto de la Cruz.

El Museo del Instituto fue concebido también como un Museo de Historia Natural, como un Gabinete Científico. Una pequeña sala del

Museo se reservó para albergar y exponer el material arqueológico. Como podemos ver en diversos documentos conservados de esa época (libros de registro y dibujos), una parte importante del material fue entregado por Bravo (Fig. 6). En esa pequeña sala del Gabinete se expusieron los materiales procedentes de Las Cañadas junto a los obtenidos con anterioridad en las exploraciones de Martiánez y Santa Úrsula. Telesforo Bravo tuvo una participación muy activa en la creación de estas salas, siendo el responsable de la preparación, montaje y diseño expositivo de los materiales arqueológicos, como se puede comprobar en algunas imágenes de los paneles de las antiguas colecciones (Fig. 7). La pequeña sala del museo recibió en el momento de su inauguración, en 1953, el nombre de Luis Diego Cuscoy, “como homenaje merecido a este infatigable arqueólogo, sin cuya inteligente comprensión hubiera sido imposible nuestro trabajo”, como comenta Celestino González en el pequeño trabajo donde relata la gestación de las colecciones del museo (González, 1956: 14) (Fig. 8).

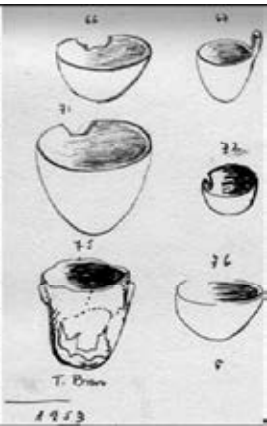
PROCEDENCIA	DONADOR	
Puerto Cruz (La Cruz)	Dr. Francisco Machado	
id.	id.	
Montaña del Cedro	Dr. Telesforo Bravo	
id.	id.	
El Cortillo	Dr. Celestino González Padrón	
Cañada Blanca	Dr. Telesforo Bravo	
Cañada Pedro Muñiz	Dr. José González Jara	
id.	id.	
El Cortillo	id.	
Santa Úrsula (Cumbre)	Dr. Manuel García Borges	
Cañada Blanca	id.	
id.	id.	
Santa Úrsula (Quinta Roja)	id.	

Fig. 6. Antiguo registro del museo del Instituto de Estudios Hispánicos realizado por Celestino González Padrón donde figura el nombre de Telesforo Bravo como donante.

Este Museo fue creado, de nuevo en palabras de Celestino González Padrón, entonces Comisario local de excavaciones arqueológicas, “con la ilusión de que así colocamos la primera piedra de un futuro Museo Arqueológico” (González, 1956: 14). Un sueño que fue en parte culminado con la creación del actual Museo Arqueológico del Puerto de la Cruz y del que Telesforo fue uno de sus integrantes más activos desde que se creó su Patronato en 1982.



Fig. 7. Telesforo Bravo tuvo una participación muy activa en la creación de la sala de arqueología del museo del Instituto de estudios Hispánicos, siendo el responsable de la preparación, montaje y diseño expositivo de los materiales.

La colaboración con los integrantes del Departamento de Arqueología y Prehistoria de la Universidad de La Laguna

En la década de los setenta comienza una nueva etapa para la Arqueología canaria. En 1969 se crea el Departamento de Arqueología y Prehistoria de la Universidad de La Laguna. Sus fundadores fueron Don Manuel Pellicer Catalán y Doña Pilar Acosta Martínez, con quienes Telesforo Bravo mantuvo siempre estrechos vínculos de colaboración. Con la creación del Departamento comienza a desarrollarse la arqueología como una actividad académica reglada y vinculada a los estudios de Historia. Surgen entonces los primeros especialistas y profesionales canarios en esta materia y, si en la etapa anterior con la creación de las Comisarías Arqueológicas y sus Delegaciones, la arqueología en Canarias se había institucionalizado, ahora se profesionaliza con la creación de los estudios universitarios (Navarro, 1997).

Como mencioné al inicio del trabajo, la arqueología se sustenta hoy en una compleja metodología de carácter interdisciplinar. En los equipos de investigación contamos con especialistas que trabajan en los campos de la

zooarqueología, la arqueobotánica, la micromorfología, la bioantropología o la arqueometría en sus múltiples aplicaciones. El concurso de todos ellos es absolutamente necesario para alcanzar una explicación histórica a partir de un registro arqueológico cada vez más amplio.



Fig. 8. Luis Diego Cuscoy durante la inauguración de la sala que llevaba su nombre en el antiguo museo del Instituto de Estudios Hispánicos (Fotografía de J.F. Navarro y M.A. Clavijo).

Sin embargo, cuando se crea el Departamento de Arqueología y Prehistoria, en los años setenta, todas estas especialidades vinculadas a la investigación arqueológica no se habían desarrollado y puedo afirmar, por la información recopilada entre los compañeros que fueron testigos de aquellos primeros momentos, que el asesoramiento interdisciplinar recaía casi exclusivamente en la figura de Don Telesforo. Don Manuel Pellicer y Doña Pilar Acosta, así como sus numerosos discípulos, recababan constantemente su opinión acerca del medio o la naturaleza del registro

arqueológico. Él era el que asesoraba en la composición de los sedimentos, en las características geográficas y geológicas del terreno donde aparecían los yacimientos arqueológicos. Era también el que clasificaba las conchas marinas y determinaba las especies de animales y plantas que aparecían, y fue el primero en realizar estudios arqueométricos de caracterización de materiales, sobre todo los relacionados con las técnicas petrográficas que tan bien dominaba. Si leemos las Memorias de Tesinas y Tesis Doctorales que se presentaron entonces en nuestra Facultad de Historia, vemos como las citas y agradecimientos a Bravo por su apoyo son constantes. Nos puede servir de ejemplo uno de los primeros discípulos de Manuel Pellicer y Pilar Acosta, Mauro Hernández Pérez, actualmente Catedrático de Prehistoria en la Universidad de Alicante y también el primer doctor en Prehistoria por la Universidad de La Laguna. Si repasamos su extensa bibliografía sobre Canarias, vemos como hace continuas alusiones a Telesforo Bravo: “*Con ocasión de la realización de nuestra tesis doctoral, contamos con la extraordinaria ayuda del Dr. Telesforo Bravo*”; “*...en aquella ocasión coincidimos en el Julán con el Prof. Dr. D. Telesforo Bravo, cuyas observaciones sobre la geología y petrología de la zona resultarían de gran interés para nuestros estudios posteriores*” (Hernández Pérez, 1977; 2002).

Desde los años cuarenta comenzó a interesarse, como ya indicamos, por los restos arqueológicos que aparecían en Las Cañadas del Teide, espacio que tuvo un gran significado en la vida y obra de Bravo, como el mismo confesó tras su jubilación en 1983, “*sólo soy un jubilado administrativo que ahora se puede dedicar a Las Cañadas*” (Machado & Hernández, 2002). Hoy tenemos un conocimiento mucho mayor de la arqueología de Las Cañadas (Arnay *et al.*, 2007, entre otros). Existe un inventario, cada vez más exhaustivo, de los distintos tipos de yacimientos y su distribución espacial. Se han realizado excavaciones arqueológicas en cuevas de habitación y en construcciones de superficie, y el conocimiento que tenemos sobre los escondrijos y las cerámicas ocultas en ellos, es mucho mayor que cuando Don Telesforo empezó a explorar las coladas de Cañada Blanca, Las Maretas o el Sanatorio. En los estudios arqueológicos que desde la década de los ochenta del siglo pasado venimos desarrollando en El Parque Nacional del Teide, siempre tuvimos el apoyo personal e institucional de Bravo, como miembro del Patronato, sin olvidar sus certeras indicaciones de campo, en cuanto a la localización de yacimientos o proporcionándonos imágenes de otros ya desaparecidos o alterados. Don Telesforo estuvo presente en la primera excavación arqueológica que realicé como profesional de la arqueología en 1977, en la Montaña de Cascajo, donde ayudó en el proceso de excavación y compartió con nosotros sus profundos conocimientos sobre la geología de la zona (Fig. 9). Se trataba de un pequeño espacio sepulcral infantil que contenía los restos de un individuo de 6-8 años de edad, datado por el carbono 14 en de 1400-

1450 (510 +/- 40 BP), y del que hoy, gracias a los novedosos procedimientos de la genética molecular, sabemos que era un varón.

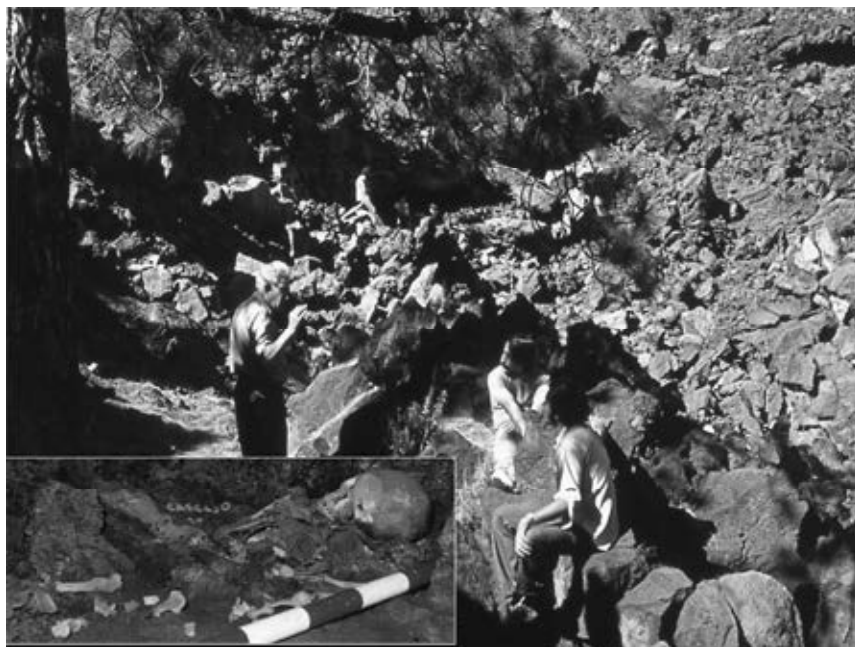


Fig. 9. Telesforo Bravo durante la excavación de Montaña de Cascajo en 1977 junto a Emilio González Reimers y José Antonio Jorge Hernández.

Las observaciones más relevantes para los estudios arqueológicos canarios

El afán de aprehender el paisaje en su totalidad le llevó a hacer innumerables observaciones de carácter arqueológico, que luego invariablemente mostraba en sus amenas charlas y conferencias sobre el medio natural. Pero aquí voy a destacar solo tres “hallazgos” que considero importantes por lo que supusieron después para la historiografía arqueológica de las islas.

Uno de los más significativos fue el descubrimiento y descripción de una estructura tallada en la roca en Lanzarote, que a partir de entonces se conocerá como la Quesera de Bravo, en su honor.

La denominación de quesera hace referencia al parecido que tiene con un gigantesco molde para elaborar queso, aunque nada tiene que ver con esos menesteres. La quesera fue descubierta por Bravo en 1953, en el

Malpaís de La Corona (Haría) al Oeste de los Jameos del Agua. Se trata de una construcción excavada en la roca basáltica porosa, en la que se han tallado cuatro canales. El canal situado más al Este muestra cuatro compartimentos internos (Fig. 10). Telesforo Bravo también reconoció el entorno de la Quesera, aportando importante información arqueológica sobre otros yacimientos de la zona, sobre todo de las estructuras habitacionales.



Fig. 10. Don Telesforo Bravo fotografiando la estructura que posteriormente será conocida como quesera de Bravo.

El hallazgo de la Quesera de Bravo es especialmente relevante en el marco de la Arqueología del Archipiélago porque hasta la actualidad sólo se conocen tres construcciones de esta naturaleza. La de San Bartolomé, hoy destruida al excavar los cimientos de una casa, de la que solo se conservan unas imágenes no muy nítidas y la espectacular Quesera de Zonzamas (Fig. 11), asociada a un extraordinario conjunto arqueológico (Cabrera *et al.*, 1999; González-Quintero, 2006).



Fig. 11. La Quesera de Zonzamas (Lanzarote).

A pesar de lo mucho que se ha avanzado en la investigación arqueológica de la isla de Lanzarote sigue sin saberse la funcionalidad concreta de estas singulares construcciones. Se han considerado las más diversas hipótesis que van desde posibles lugares de almacenamiento a la obtención de materiales constructivos de gran porte, pero sobre todo se han relacionado con espacios de culto, como ya les atribuyó Bravo en su momento (Bravo, 1960). En la actualidad se ha destacado su semejanza con otras manifestaciones arqueológicas descubiertas en la isla, grabados que dibujan largos surcos en lomas y montañas y que suelen aparecer asociados a canales y cazoletas, lo que refuerza la hipótesis de un posible significado mágico- religioso (Perera *et al.*, 2004).

Muchas de las observaciones que Telesforo hace en la isla de La Gomera las lleva a cabo en compañía de su hermano Ventura, que también era un gran aficionado a la arqueología y al coleccionismo de objetos

antiguos. Sus mejores aportaciones en esta isla tienen que ver con el descubrimiento de espacios sepulcrales. Sin embargo, es en isla de La Palma, donde Bravo hace una de sus grandes aportaciones para la investigación arqueológica de las islas, sobre todo en el campo del conocimiento de los grabados rupestres. En 1960 descubrió los grabados del Roque de Teneguía:

“Actualmente recorre el profesor Bravo, de manera que pudiéramos calificar de exhaustiva, la demarcación del pueblo de Fuencaliente....Y fue allí, en el ya nombrado Roque de Teneguía, en las faldas del antiguo volcán de San Antonio, cuyas lavas (1677) respetaron este lugar, donde han sido descubiertos unos grabados semejantes a los que existen en la famosa Cueva de Belmaco” (La Tarde, 18 de Junio de 1960: 3).

Esta estación de grabados sigue considerándose como una de las más importantes y emblemáticas de La Palma. En 1973 fue estudiada en profundidad por Luis Diego Cuscoy (Diego, 1973). Para Navarro & Clavijo (2011: 51) este estudio fue *“el más exhaustivo que se había hecho hasta entonces en Canarias, así como la crónica de unos intentos desesperados por salvar unos grabados rupestres”*, pero también supuso un cambio significativo en la interpretación de estas manifestaciones, dando inicio al abandono de la errónea idea de un poblamiento neolítico de Canarias y sugiriendo una llegada más tardía de ámbito bereber. La estación está formada por 83 paneles, y se extiende por la cara oriental y la parte superior del pitón. Los motivos predominantes son las espirales, los círculos, los semicírculos concéntricos y los meandriformes (Fig. 12).

Muy significativos son también los hallazgos que hace en 1962 en el pico Bejenado (El Paso), terreno que conocía muy bien y que había explorado de forma minuciosa. Estas primeras observaciones de Bravo han sido consideradas por los especialistas como el motor que impulsó la búsqueda sistemática de grabados por estas zonas y que dio lugar con el tiempo a un registro importantísimo de estaciones con grabados, algunos de extraordinario interés. Existe actualmente una treintena de estaciones con ideogramas geométricos, con una llamativa concentración en la mitad oriental, donde se encuentran unas 22 estaciones con un total de 227 paneles. Entre ella cabe destacar la estación del lomo de Tamarahoya, que con 121 paneles, es la mas grande de La Palma (Pais & Tejera, 2010: 168-171).

Don Telesforo Bravo estuvo muy vinculado al Museo Canario de Las Palmas de Gran Canaria, donde trabajó como asesor científico en 1956, colaborando de forma muy estrecha con el entonces conservador, Don José Naranjo. Se sentía especialmente a gusto, como él relataba, en las salas del Museo que habían mantenido su carácter de museo de Historia Natural al

estilo del siglo XIX, con grandes espacios dedicados a la arqueología y a la antropología. Hoy es un museo de contenido estrictamente arqueológico, pero alguna de sus salas, como la de Antropología, conserva su antigua disposición decimonónica en homenaje a sus orígenes.

Bravo acompañó al conservador del museo en múltiples expediciones y excavaciones arqueológicas por toda la isla de Gran Canaria. Los objetos recogidos en esos trabajos se integraron en las colecciones de la institución y algunos de especial relevancia fueron publicados por el propio Telesforo en el capítulo correspondiente de su Geografía de Canarias (Bravo, 1964: 290-297).

Desde que Don Telesforo trabajó en las dependencias del Museo Canario hasta la actualidad, las investigaciones arqueológicas en Gran Canaria han tenido un crecimiento espectacular, imposible de resumir en estas páginas; incluso existe otro magnífico museo de contenido arqueológico, el Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada de Galdar (<http://www.cuevapintadaorg/>).



Fig. 12. Grabados del Roque de Teneguía (La Palma). Telesforo Bravo siempre denunció los sistemas para calcar los grabados que se hacían entonces y que dejaban una huella indeleble en la porosa roca volcánica como se aprecia en la imagen.

No obstante podemos destacar las observaciones realizadas por Bravo sobre la localización de las obsidianas en la isla de Gran Canaria, que fueron fundamentales para los posteriores estudios sobre las actividades

económicas de la población aborigen de la isla. Él fue el primero que estudió la distribución geográfica de las escasas vetas existentes y observó la similitud de esa materia prima con algunos utensilios tallados que se encontraban en el Museo Canario. Estas primeras observaciones hicieron posible con el tiempo localizar y estudiar en la Montaña de Hogarzales (San Nicolás de Tolentino) un excepcional yacimiento relacionado con las actividades mineras de los antiguos canarios. Se trata de un conjunto de 53 galerías excavadas en la toba volcánica, formando una compleja red de túneles que perfora la montaña siguiendo la veta de obsidiana. Estas minas aparecen asociadas a un conjunto no menos importante de canteras al aire libre y diversas estructuras, donde se han hallado las herramientas utilizadas por los mineros en una explotación que estuvo activa en los siglos VII y XI después de Cristo (Martin *et al.*, 2001) (Fig. 13).



Fig. 13. Galería para la explotación de la obsidiana en la Montaña de Hogarzales (San Nicolás de Tolentino, Gran Canaria), según Martín *et. al.* (2001).

En síntesis, podemos concluir que las observaciones arqueológicas realizadas por Telesforo Bravo fueron una parte más de las actividades que desarrolló en su dilatada y fructífera vida como naturalista. En este breve recorrido historiográfico hemos visto su interés por las evidencias arqueológicas incluso antes de que existiera una actividad reglada y profesional de la disciplina. Colaboró en los momentos iniciales con Luis

Diego Cuscoy, y vivió lo que se considera como la institucionalización de la arqueología en Canarias con la implantación de las Delegaciones Provinciales de Arqueología. Trasladó luego su colaboración a la Universidad de La Laguna, a la Facultad de Historia, colaborando con su promotor Don Elías Serra Ràfols, y después con los fundadores del Departamento de Arqueología y Prehistoria, Manuel Pellicer Catalán y Pilar Acosta Martínez. Continuó ayudando a los primeros profesionales surgidos en la Universidad y prosiguió llevando esa colaboración hasta el final de sus días. En la última imagen que cierra este trabajo le vemos en su casa, conversando con Miguel Ángel Clavijo Redondo, que junto a Juan Francisco Navarro Mederos, lo entrevistaron poco antes de su muerte, precisamente para elaborar un trabajo sobre la figura de Luis Diego Cuscoy y La Historia de la Arqueología de Canarias, de la que Don Telesforo Bravo también forma parte (Fig. 14).



Fig. 14. Telesforo Bravo en su casa conversando con Miguel Ángel Clavijo Redondo poco antes de su fallecimiento.

Agradecimientos

A Emilio González Reimers, Juan Francisco Navarro Mederos y Jaime Coello Bravo por las imágenes e información proporcionada.

Referencias

- AAVV (2001). Homenaje al Dr. D. Gregorio Chil y Naranjo (1831-1901). *El Museo Canario*, LVI.
- AFONSO VARGAS, J.A. (2012). *Aplicación del análisis de fitolitos y otros microfósiles al estudio de yacimientos, materiales arqueológicos y edáficos de las islas Canarias. Los ejemplos de Las Cañadas del Teide (Tenerife), La Cerera (Aruca, Gran Canaria) y otras zonas de aplicación experimental*. Tesis Doctoral. Facultad de Geografía e Historia de la Universidad de La Laguna. Inédita.
- ÁLVAREZ DELGADO, J. (1947). Excavaciones arqueológicas en Tenerife (Canarias). Plan Nacional 1944-1945. *Informes y Memorias de la Comisaría General de Excavaciones Arqueológicas*, 14. Madrid.
- ARNAY DE LA ROSA, M. (2009). El yacimiento sepulcral de la Iglesia de La Concepción de Santa Cruz de Tenerife. *Arqueología Iberoamericana*, 3(2):21-36. <http://www.laiesken.net/arqueología/archivo/2009/0372>
- ARNAY DE LA ROSA, M. & A.M. GARCÍA PÉREZ (2009). Antropología y Arqueología. Sala Anatael Cabrera Díaz. En *El Patrimonio educativo de los Institutos Históricos. II Jornadas Nacionales. Libro de Actas*, pp. 28-30. Viceconsejería de Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias.
- ARNAY, M., E. GONZÁLEZ, Y. YANES, C.S. ROMANEK, J.E. NOAKES & L. GALINDO (2011). Paleonutritional and paleodietary survey on prehistoric humans from Las Cañadas del Teide (Tenerife, Canary Islands) based on chemical and histological analysis of bone. *Journal of Archaeological Science* 38: 884-895.
- ARNAY DE LA ROSA, M. (dir) (2007). *Inventario Arqueológico del Parque Nacional del Teide*. Parque Nacional del Teide/ Tragsa/ Fundación Empresa Universidad de La Laguna. Inédito.
- BAUCELLS MESA, S. (2010). *Aculturación e identidad. El proceso de interacción entre guanches y europeos (siglo XIV-XVI)*. Tesis Doctoral. Departamento de Prehistoria, Antropología e Historia Antigua. Facultad de Geografía e Historia. Universidad de La Laguna. Inédita.
- BERTHELOT, S. (1980) (1879). *Antigüedades canarias*. Ediciones Goya. Santa Cruz de Tenerife.
- BRAVO EXPÓSITO, T. (1960). La nueva quesera del Jameo del Agua en la isla de Lanzarote. *Revista de Historia Canaria* XXVI (129-130): 94-98.
- BRAVO EXPÓSITO, T. (1964). *Geografía General de las Islas Canarias*. Tomo II. Goya Ediciones. Santa Cruz de Tenerife.
- BRAVO, T. & J. COELLO (1980). Sabin Berthelot y su influencia en la Geología de Canarias. En *Homenaje a Sabino Berthelot en el centenario de su fallecimiento 1880-1980*, pp. 39-48. Instituto de estudios Canarios. La Laguna.
- CABRERA, J.C., M.A. PERERA BETANCOR & A. TEJERA GASPAS (1999). *Majos. La Primitiva Población de Lanzarote*. Fundación César Manrique. Teguiise. Lanzarote.

- CIORANESCU, A. (1980). Un erudito en Canarias: Sabino Berthelot. En *Homenaje a Sabino Berthelot en el centenario de su fallecimiento 1880-1980*, pp. 9-36. Instituto de estudios Canarios. La Laguna.
- CLAVIJO REDONDO, M.A. (2004). Prólogo a DIEGO CUSCOY, L. *Entre pastores y ángeles*, 3ª Edición. Ediciones Idea. Santa Cruz de Tenerife.
- COELLO BRAVO, J. (2007). *Telesforo Bravo Expósito*. Biografías de Científicos Canarios. Gobierno de Canarias. Madrid.
- DÍAZ-ANDREU, M. (2002). *Historia de la Arqueología en España. Estudios*. Ediciones Clásicas. Madrid.
- DANIEL, G. (1986). *Historia de la Arqueología. De los anticuarios a V. Gordon Childe*. Alianza Editorial. Madrid.
- DIEGO CUSCOY, L. (1953). Nuevas excavaciones arqueológicas en las Canarias Occidentales. *Informes y Memorias* 28, Madrid.
- DIEGO CUSCOY, L. (1973). El Roque de Tenegüfá y sus petroglifos. *Noticiario Arqueológico Hispánico* 2, Prehistoria: 57-141.
- DIEGO CUSCOY, L. (1982). El Museo Canario y factores determinantes de su continuidad. *El Museo Canario* XLII: 7-18.
- DIEGO CUSCOY, L. (2008). *Los Guanches. Vida y cultura del primitivo habitante de Tenerife*. Edición y estudio introductorio de J.F. Navarro Mederos y M.A. Clavijo Redondo. Instituto de estudios Canarios. La Laguna.
- ESTÉVEZ GONZÁLEZ, F. (1987). *Indigenismo, raza y evolución. El pensamiento antropológico canario (1750-1900)*. Aula de Cultura de Tenerife. Santa Cruz de Tenerife.
- FARRUJIA DE LA ROSA, J. (2010). *En busca del pasado guanche. Historia de la Arqueología en Canarias*. Santa Cruz de Tenerife.
- FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, V. (2006). *Una Arqueología Crítica. Ciencia, ética y política en la construcción del pasado*. Crítica. Barcelona.
- FREGEL, R., J. PESTANO, M. ARNAY, V. CABRERA, J.M. LARRUGA & A.M. GONZÁLEZ (2009). The maternal aborigine colonization of La Palma. *European Journal of Human Genetics* 17(10): 1314-1324.
- GALVÁN SANTOS, B., C.M. HERNÁNDEZ GÓMEZ, J. VELASCO VÁZQUEZ, V. ALBERTO BARROSO, E. BORGES DOMÍNGUEZ, A. BARRO ROIS & A. LARRAZ MORA (1999). *Orígenes de Buenavista del Norte: de los primeros pobladores a los inicios de la colonización europea*. Ayuntamiento de Buenavista del Norte. Buenavista del Norte.
- GARCÍA-DIEZ, M. & L. ZAPATA (Eds) (2013). *Métodos y técnicas de análisis y estudio en Arqueología Prehistórica. De lo técnico a la reconstrucción de los grupos humanos*. Universidad del País Vasco.
- GARCÍA PULIDO, D. (2000). *San Rafael y San Roque. Un camposanto con historia (1810-1016)*. Santa Cruz de Tenerife.
- GARCÍA SANJUÁN, L. (2005). *Introducción al reconocimiento y análisis arqueológico del territorio*. Ariel Prehistoria. Barcelona.
- GONZÁLEZ PADRÓN, C. (1956). Hallazgos arqueológicos procedentes de “La Cañadas del Teide” (Tenerife). *Noticiario Arqueológico Hispánico*. Cuadernos 1-3 (1954-1955): 9-14.

- GONZÁLEZ QUINTERO, P. (2006). El “Palacio” de Zonzamas como referente etnohistórico y como realidad arqueológica. *El Pajar* 21: 32-43.
- GONZÁLEZ REIMERS, E. (2013). Excursiones por las islas con Sventenius: la enseñanza de un maestro. En A. García Gallo (ed.): *El siglo de Sventenius (Homenaje en el centenario de su nacimiento.1910-2010)*, pp. 15-26. Instituto de Estudios Canarios. La Laguna.
- HERNÁNDEZ PÉREZ, M.S. (1977). *La Palma prehispánica*. El Museo Canario. Las Palmas de Gran Canaria.
- HERNÁNDEZ PÉREZ, M.S. (2002). *El Julan*. Estudios Prehispánicos, 10. Dirección general de Patrimonio Histórico. Gobierno de Canarias. Madrid.
- HOOTON, E.A. (2005) (1925). *Los primitivos habitantes de las islas Canarias*. Ediciones Idea. Santa Cruz de Tenerife.
- MACA-MEYER, N., M. ARNAY, C. FLORES, A.M. GONZÁLEZ, V. CABRERA & J.M. LARRUGA (2004). Ancient mt DNA análisis and the oigin of the Guanche. *European Journal of Human Genetics* 12: 155-162.
- MACHADO, A. & M.J. HERNÁNDEZ (2002). *In memorian*. Telesforo Bravo Expósito. Perfil de un naturalista. *Diario de Avisos* 20-1-2002.
- MARTÍN RODRÍGUEZ, E., A. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, J. VELASCO VÁZQUEZ, V. ALBERTO BARROSO & J. MORALES MATEO (2011). Montaña de Hogarzales: un centro de producción de obsidiana, un lugar para la reproducción social. *Tabona* 10: 127-166.
- MORALES MATEOS, J. (2010). *El uso de las plantas en la Prehistoria de Gran Canaria: alimentación, agricultura y ecología*. Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada. Galdar. Gran Canaria.
- NAVARRO MEDEROS, J.F. (1997). Arqueología de las Islas Canarias. *Espacio, Tiempo y Forma, serie I, Prehistoria y Arqueología*, 10: 201-232.
- NAVARRO MEDEROS, J.F. & M.A. CLAVIJO REDONDO (2001). La comisaría de Excavaciones Arqueológicas en las Canarias occidentales: sobre el balance y trascendencia de Luis Diego Cuscoy. *Faykag. Revista de Arqueología Canaria*, año 1, nº 0, noviembre, (en línea) <http://faykag.cjb.net>.
- NAVARRO MEDEROS, J.F. & M.A. CLAVIJO REDONDO (2011). *44 años de arqueología canaria: textos escogidos de Luis Diego Cuscoy*. Instituto de estudios Canarios. La Laguna.
- RAMÍREZ SÁNCHEZ, M. (1997). Aproximación historiográfica a la investigación arqueológica en Canarias: las Sociedades Científicas del siglo XIX. En G. Mora & Díaz Andreu (eds): *La cristalización del pasado: génesis y desarrollo del marco institucional de la Arqueología en España*, Málaga, pp. 311-319.
- RAMÍREZ SÁNCHEZ, M. (2006). *Gregorio Chil y Naranjo*. Biografías de Científicos Canarios. Gobierno de Canarias. Madrid.
- RANDO, J.C. (2003). Protagonistas de una catástrofe silenciosa. Los vertebrados extintos de canarias. *El Indiferente* 145-15.
- RANDO, J.C., J.A. ALCOVER, J. MICHAUX, R. HUTTERER & J.F. NAVARRO (2012). Late-Holocene asynchronous extinction of endemic mammals on the eastern Canary Islands. *The Holocene* 22: 801-808.

- PAIS PAIS, J. & A. TEJERA GASPAR (2010). *La religión de los benahoaritas*. Fundesculp. Santa Cruz de La Palma.
- PERERA BETANCOR, A., P. MEDINA MEDINA, J. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, J. FARRAY BARRETO, M. ÁLVAREZ PÉREZ & A. MONTELONGO FRANQUIZ, (2004). Yacimientos rupestres de los majos en montañas y barrancos de Lanzarote. Nuevo lenguaje arqueológico moldeado en el territorio. *Tabona* 13: 215-248.
- TRIGGER, B. (1992). *Historia del pensamiento arqueológico*. Editorial Crítica. Barcelona.

2. Metabolitos secundarios y defensas de las plantas

Antonio Galindo Brito

*Catedrático jubilado de Química Orgánica,
Universidad de La Laguna
antonioagalindobrito@gmail.com*

En su hábitat natural, las plantas se hallan rodeadas de un enorme número de enemigos potenciales, pues casi todos los ecosistemas contienen una amplia variedad de bacterias, virus, hongos, nemátodos, arácnidos, insectos, mamíferos y muchos animales herbívoros. Por su naturaleza intrínseca, las plantas no pueden defenderse de los herbívoros y patógenos a través del movimiento, es decir, huyendo de ellos. Sin embargo, de esto no debemos concluir que están indefensas ante el ataque de sus enemigos, ya que efectúan su protección a través de otros caminos. La primera línea de defensa de las plantas está constituida por su superficie y así, la cutícula (una capa externa cerosa) y la peridermis (tejido protector secundario), comienzan por retardar la pérdida de agua, proporcionando una barrera pasiva a la entrada de bacterias y hongos. Un grupo amplio de compuestos presentes en las plantas, comúnmente conocidos como metabolitos secundarios (MS), también actúan como agentes de defensa de las plantas frente a una gran variedad de herbívoros y microbios patógenos. Varios MS juegan otras importantes funciones tales como proporcionar soporte estructural como ocurre con las ligninas o actuando como pigmentos como es el caso de las antocianinas.

Cuando mi buen amigo Julio Afonso Carrillo me invitó a participar en la Semana Científica que anualmente organiza el Instituto de Estudios Hispánicos (IHEC) del Puerto de la Cruz, no lo dudé ni un solo instante y

rápidamente acepté el ofrecimiento, puesto que se trataba de un acontecimiento muy especial ya que en ella se rendía un sentido y merecido homenaje a la figura de un excepcional portuense, Telesforo Bravo, que me honró con su amistad. Mi primer contacto con nuestro homenajeado fue por los años 57-58 del pasado siglo, cuando yo acababa de terminar el bachillerato y oía hablar de la figura de un estudioso geólogo portuense que se hallaba en Oriente Medio trabajando para una empresa estadounidense que buscaba agua. Aquello era tan exótico, que me recordaba los famosos cuentos de Las Mil y Una Noches y la noticia estaba teñida de una aureola mítica que exaltaba aún más la figura de D. Telesforo.

Posteriormente, coincidimos como profesores universitarios en la vetusta Facultad de Ciencias de la Universidad de La Laguna y tuvimos alguna esporádica conversación. Finalmente, nuestro pleno encuentro se produjo cuando nuestro común amigo Manuel López García, que por entonces era el Presidente del IHEC, me invitó a formar parte de la junta directiva del IHEC, en la que junto a D. Telesforo Bravo se encontraba otro destacado portuense, D. Celestino González Padrón, de quienes aprendí lecciones de amor a nuestro pueblo común. Cuando finalmente accedí al cargo de presidente de la citada institución, ya cimentamos sólidamente nuestra amistad y ello me permitió conocer más a fondo el perfil científico y humano de este excepcional portuense a quien hoy dedico estas humildes páginas como un pequeño homenaje.

Cutinas, ceras y suberina

Todas las partes de la planta expuestas a la atmósfera están cubiertas por capas de material lipídico que reducen la pérdida de agua y ayudan a bloquear la entrada de hongos patógenos y bacterias. Los principales constituyentes de estas cubiertas son cutina, suberina y ceras. La cutina se encuentra en la mayoría de las partes aéreas de la planta; la suberina está presente en las partes subterráneas, tallos leñosos y heridas cicatrizadas, y finalmente las ceras están asociadas con la cutina y la suberina.

• Formadas por compuestos hidrofóbicos

La **cutina** es una macromolécula, es decir, un polímero que consta de muchos ácidos grasos de cadena larga que están unidos entre si por enlaces tipo éster, formando una red tridimensional rígida. Los ácidos grasos de la cutina tienen grupos hidroxilo (OH) o epóxido situados bien en la parte media de la cadena, bien en el extremo opuesto al grupo carboxilo:

(A) Ácidos grasos hidroxilados que polimerizan para forman la cutina:

$\text{HOCH}_2(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ Ácido 16-hidroxi-decahexanoico

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{CHOH}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$ Ácido 7-hidroxi-hexadecanoico

(B) Componentes comunes de las ceras:

(B1) Alcanos de cadena lineal: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{27}\text{CH}_3$; $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{29}\text{CH}_3$

(B2) Ésteres de ácido grasos: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COO}(\text{CH}_2)_{25}\text{CH}_3$

(B3) Ácido graso de cadena larga: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$

(B4) Alcohol de cadena larga: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{24}\text{CH}_2\text{OH}$

(C) Ácidos grasos hidroxilados que polimerizan junto con otros compuestos para formar la suberina:

(C1) $\text{HOCH}_2(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$

(C2) $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ (un ácido dicarboxílico)

La cutina es el constituyente principal de la cutícula, una estructura multicapa que cubre las paredes celulares externas de la epidermis en las partes aéreas de todas las plantas herbáceas. La cutícula está compuesta por una capa superior de cera, una capa media gruesa que contiene cutina embebida en la cera (la cutícula propiamente dicha) y una capa inferior formada de cutina y cera, mezclada con pectinas, celulosas y otros hidratos de carbono de la pared celular (la capa cuticular). Recientemente se ha afirmado que además de la cutina, la cutícula puede contener un segundo polímero lipídico, formado por largas cadenas hidrocarbonadas que han sido denominadas cutano.

Las **ceras** no son macromoléculas, sino mezclas complejas de lípidos de cadena larga extremadamente hidrófoba. Los componentes más comunes de las ceras son alcanos de cadena lineal y alcoholes de 25 a 35 átomos de carbono. También se han encontrado aldehídos de cadena larga, cetonas, ésteres y ácidos grasos libres. Las ceras de la cutícula son sintetizadas por las células epidérmicas y secretadas como gotas que cruzan los poros de la pared celular por un mecanismo desconocido. La cubierta de la cutícula cerosa con frecuencia cristaliza en un complicado patrón de varas, tubos o placas.

La **suberina** es un polímero cuya estructura es muy poco conocida. Al igual que la cutina, la suberina está formada por hidroxí- o epoxi ácidos grasos unidos por enlaces tipo éster. Sin embargo, parece que la suberina difiere de la cutina en que contiene ácidos grasos dicarboxílicos de cadena más larga y una parte significativa de compuestos fenólicos como parte de su estructura.

La suberina es un constituyente de la pared celular localizada en muchas partes en la planta. Es el principal componente de las paredes celulares exteriores de todos los órganos subterráneos y de las células de corcho de la peridermis, el tejido que forma la corteza exterior de los troncos y las raíces durante el crecimiento secundarios de las plantas

leñosas. La suberina también se forma en las zonas de abscisión de la hoja y en las partes aéreas dañadas por enfermedades o heridas.

- **Ayudan a reducir la transpiración y la invasión por patógenos**

La cutina, la suberina y sus ceras asociadas forman barreras entre la planta y su entorno que sirven para mantener el agua dentro y los patógenos fuera. La cutícula es muy efectiva limitando la pérdida de agua en las partes aéreas de la planta, aunque no bloquea completamente la transpiración, ya que se pierde algo de agua incluso con los estomas cerrados. El grosor de la cutícula varía dependiendo de las condiciones ambientales y así las especies vegetales nativas de zonas áridas tienen cutículas más gruesas que las de las plantas de regiones húmedas, aunque estas últimas con frecuencia desarrollan cutículas gruesas cuando crecen en ambientes secos.

La cutícula y el tejido suberificado son importantes en la exclusión de hongos y bacterias, aunque la resistencia a patógenos no parece ser tan importante como otras defensas que analizaremos posteriormente. Muchos hongos penetran directamente a través de la superficie vegetal de forma mecánica. Otros producen cutinasa, una enzima que hidroliza la cutina y facilita así la entrada en la planta.

Metabolitos Secundarios

Las plantas producen una amplia y diversa variedad de compuestos orgánicos que no parecen ejercer ninguna función importante en su crecimiento ni en su desarrollo. Estos compuestos son conocidos como metabolitos secundarios (MS) o también como productos naturales. A los MS no se le reconoce un papel directo en los procesos de fotosíntesis, respiración, transporte de soluto, translocación, síntesis de proteínas, asimilación de nutrientes, diferenciación y formación de los llamados metabolitos primarios (MP) [carbohidratos (HC), proteínas (P), ácidos nucleicos (AN) y lípidos (L)].

Los metabolitos secundarios también difieren de los metabolitos primarios en que tienen una distribución restringida en el reino vegetal. Así, por ejemplo, ciertos MS sólo se hallan en una especie de plantas o en todo caso en un grupo de especies relacionadas, mientras que los MP se encuentran distribuidos en todo el reino vegetal.

- **Los MS defienden a las plantas de herbívoros y patógenos**

Durante mucho tiempo la significación adaptativa de la mayor parte de los MS ha permanecido desconocida y se creyó que eran los productos finales de desecho del metabolismo vegetal. El estudio de estas sustancias ha sido llevado a cabo primordialmente por los químicos orgánicos a lo largo del lo siglo XIX y primera parte del XX, impulsados por el enorme interés que

mostraron como drogas medicinales (fármacos), venenos, aromas, sabores y materiales de interés industrial.

Actualmente empezamos a conocer con más detalle que los MS juegan un papel importante en las plantas ejerciendo funciones ecológicas trascendentes entre las que mencionaremos las tres siguientes:

- Protegen a las plantas del ataque de los herbívoros y de los agentes patógenos.
- Sirven como atrayentes (olor, color, sabor) de polinizadores y animales dispersores de semillas, lo que garantiza la perpetuación y transmisión de su especie.
- Actúan como agentes en la competición planta-planta y la simbiosis planta-microbio.

La habilidad de las plantas para competir y sobrevivir está por estas razones profundamente afectada por las funciones ecológicas que desempeñan los MS.

• Las defensas vegetales son un producto de la evolución

Podemos comenzar preguntándonos como llegaron las plantas a tener defensas. De acuerdo con las teorías evolucionistas, las defensas vegetales deben haber surgido a través de fenómenos de mutación hereditaria, selección natural y cambios evolutivos. Mutaciones al azar en las rutas metabólicas básicas darían lugar a la aparición de nuevos compuestos, que pudieron ser tóxicos o disuasorios para los herbívoros y microbios patógenos.

Como estos compuestos no eran tóxicos para la propia planta y el coste metabólico para producirlos no era excesivo, representaron una ventaja reproductiva para las plantas que los poseían frente aquellas que carecían de estas defensas. Así, las plantas con defensas generaron una descendencia mayor que las plantas sin estas defensas y transmitieron estos caracteres a las generaciones siguientes.

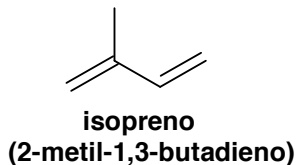
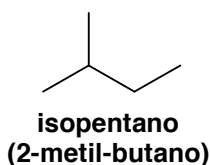
El ajuste reproductivo que supusieron estos compuestos de defensa al salvaguardar las plantas de herbívoros, bacterias y hongos, también las hizo indeseables como alimentos para los humanos. Muchos cultivos vegetales importantes han sido seleccionados artificialmente para producir niveles mínimos de estos compuestos, lo que ha provocado también que sean más susceptibles a los insectos y las enfermedades.

Los metabolitos secundarios de las plantas pueden ser divididos en tres grupos con características químicas diferentes: terpenos, fenoles y compuestos nitrogenados.

A. Terpenos

Este grupo de sustancias constituye el mayor grupo de PS y en general suelen ser insolubles en agua. Se biosintetizan a partir de Acetil-CoA o de intermedios glicolíticos.

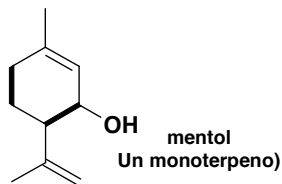
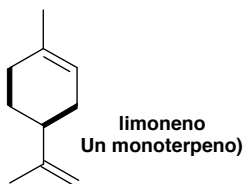
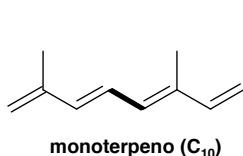
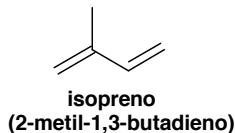
Todos los terpenos se forman a partir de la unión de elementos de cinco carbonos que tienen el esqueleto ramificado del isopentano:

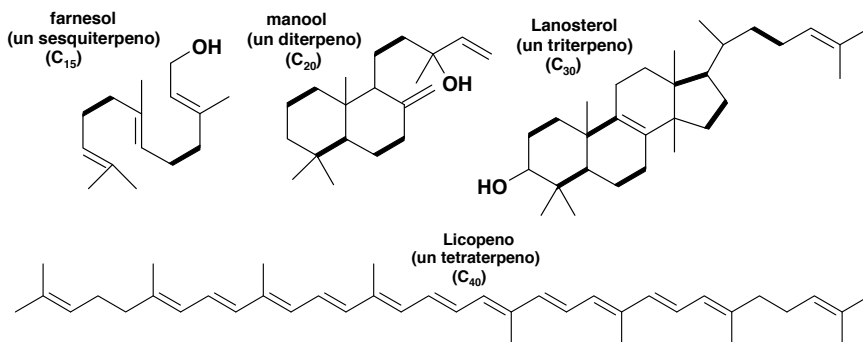


Con carácter general los terpenos se consideran formados por unidades de isopreno enlazadas entre si de manera repetitiva. Según el número de unidades enlazadas los terpenos se clasifican en:

- **Monoterpenos** (C_{10}), formados por dos unidades de isopreno.
- **Sesquiterpenos** (C_{15}), formados por tres unidades de isopreno.
- **Diterpenos** (C_{20}), formados por cuatro unidades de isopreno.
- **Triterpenos** (C_{30}) formados por seis unidades de isopreno.
- **Tetraterpenos** (C_{40}) formados por ocho unidades de isopreno.
- **Politerpenoides**, denominación que se aplica cuando el número de unidades de isopreno es superior a ocho.

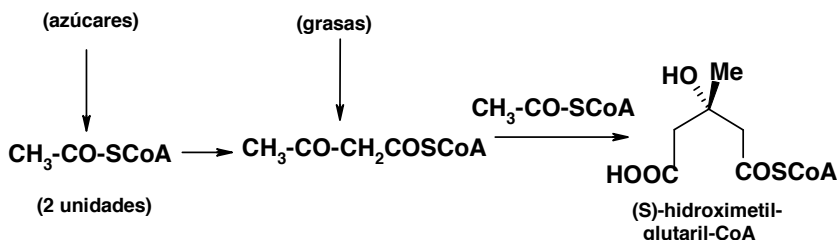
Es frecuente que a los terpenos se les denomine también como isoprenoides en clara alusión a que formalmente pueden considerarse formados por la unión de un número variable de unidades de isopreno que se enlazan cabeza-cola, es decir, la parte inicial de una molécula con la parte final de la otra:



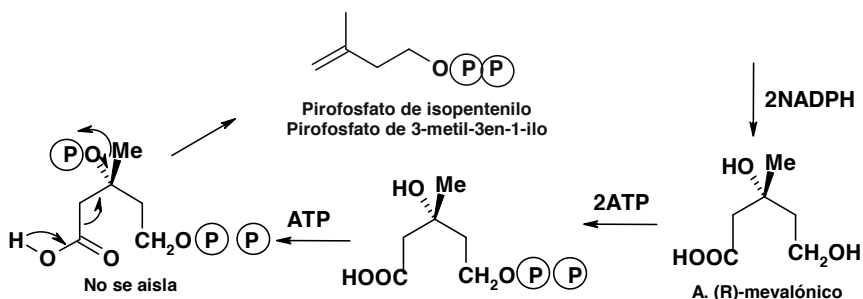


• Biosíntesis de terpenos

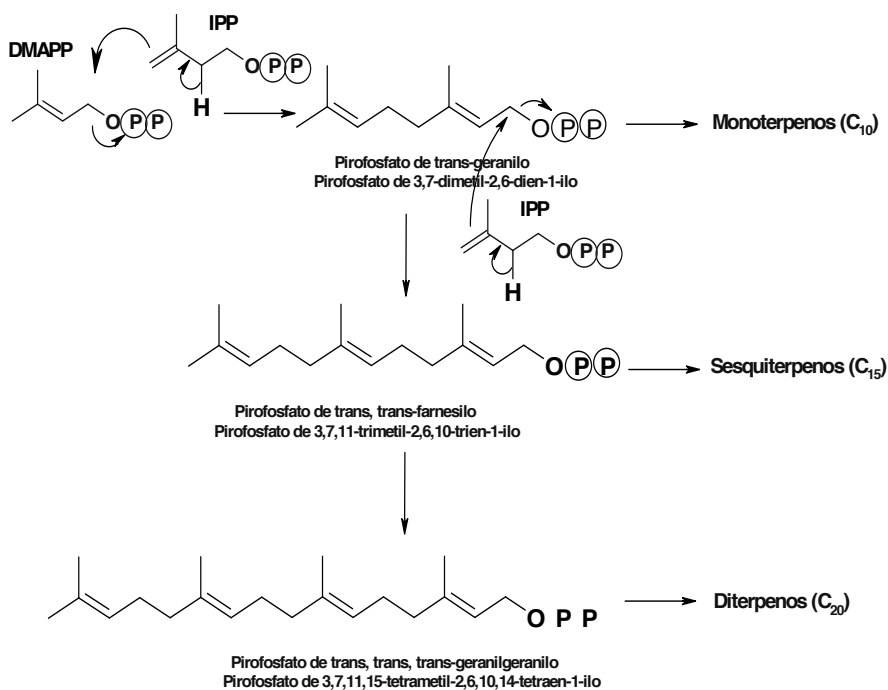
Como ya hemos mencionado, la biosíntesis de los terpenos puede comenzar a partir de tres unidades de Acetil-CoA (C₂), que procede de la oxidación de las grasas o de la condensación de dos unidades de Acetil-CoA, a la que sigue una condensación tipo aldólica con otra molécula más para generar ácido mevalónico (A. 3S, 3-metil-glutaril-CoA. El grupo éster de esta molécula es reducido por NADPH produciéndose R-mevalonato en un paso irreversible, por lo que el mevalonato ya sólo puede generar terpenos:



Posteriormente, el mevalonato se convierte en pirofosfato de isopentenilo (pirofosfato de 3-metil-3-buten-1-ilo) por fosforilación con ATP y descarboxilación:



El pirofosfato de isopentenilo (IPP) se transforma fácilmente en terpenos a través de una especie de condensación-polimerización en la que en primer lugar el IPP se isomeriza a pirofosfato de 3-metil-2buten-1-ilo (difosfato de dimetilalilo; DMAPP), compuesto que lleva un grupo saliente muy reactivo (por su condición de arílico al doble enlace).



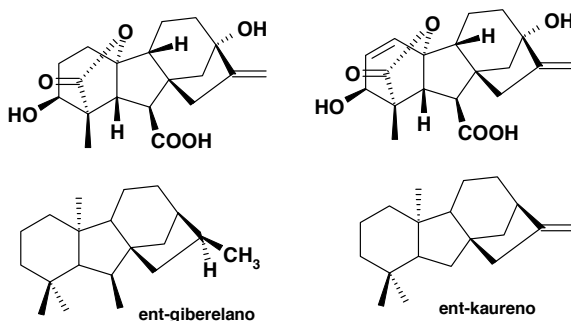
A continuación, ocurre la condensación entre el IPP y el DMAPP para originar pirofosfato de trans-geranilo (un sesquiterpeno en C_{10} , es decir un monoterpenos). Sucesivas transformaciones repitiendo el esquema primitivo, pero cambiando el IPP por pirofosfato de pirofosfato de trans-farnesilo (C_{15}) y pirofosfato de todo trans-geranilgeranilo (C_{20}), conducen a los precursores de los sesqui- y di-terpenos, respectivamente. De modo totalmente análogo se general los precursores de los tri- y tetra-terpenos.

• Varios terpenos intervienen en el crecimiento y desarrollo de las plantas

Varios terpenos tienen funciones muy bien caracterizadas en el crecimiento y desarrollo de las plantas de tal manera que pueden ser considerados más como metabolitos primarios que como metabolitos secundarios. Así, por ejemplo, las giberellinas constituyen un importante grupo de **diterpenos**

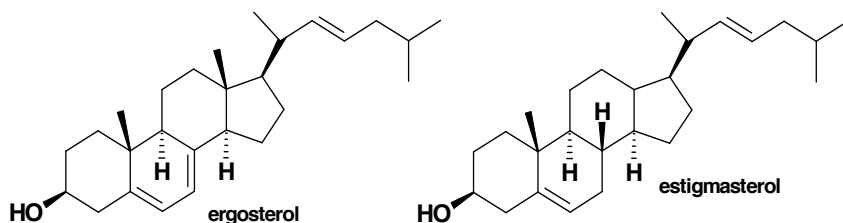
que ejercen funciones de fitohormonas. Estructuralmente derivan del ent-kaureno y tienen como estructura básica el ent-giberelano. Se producen en la zona apical, frutos y semillas y sus más importantes funciones son:

- Interrumpir el periodo de latencia de las semillas (germinación).
- Inducir la brotación de las yemas.
- Promover el desarrollo de los frutos (floración).

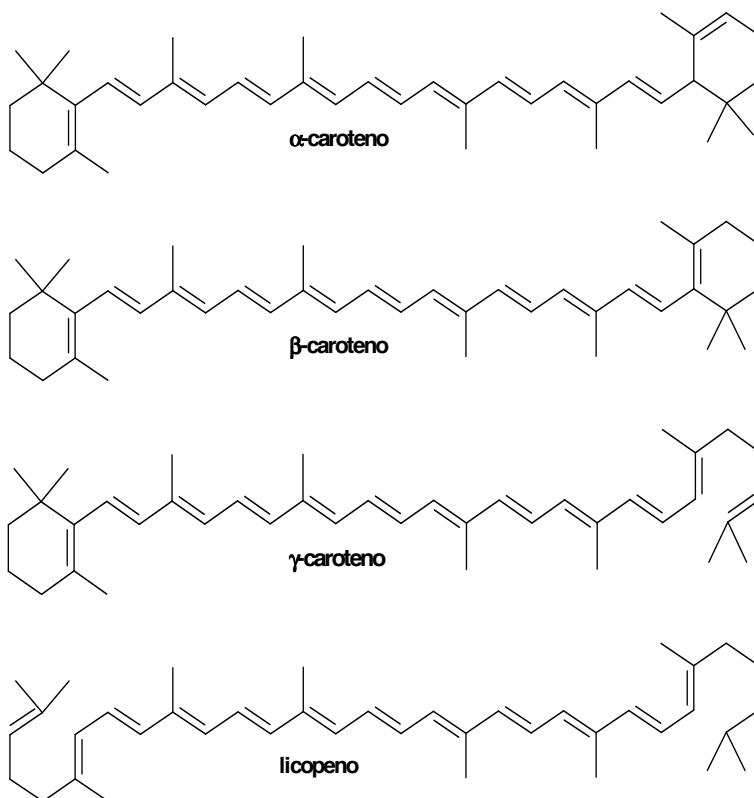


Los **brassinosteroides** constituyen otra clase de hormonas de plantas con estructura de **triterpenos** que actúan como hormonas ejerciendo funciones reguladoras del crecimiento.

Los **esteroles** son derivados **triterpénicos** que son componentes esenciales de las membranas celulares, a las que estabilizan interaccionando con los **esfingolípidos**. Algunos esteroides vegetales muy bien conocidos son el **ergosterol** (presenta en las levaduras) y el **estigmasterol** que está ampliamente distribuido por el reino vegetal:



Los **carotenoides** de colores rojos, naranjas y amarillos son **tetraterpenos** (C_{40}) que funcionan como pigmentos en las funciones de fotosíntesis y protegen los tejidos fotosintéticos de las fotooxidaciones. Los carotenoides más ampliamente distribuidos en el reino vegetal son el α -, β -, y γ -caroteno (color naranja; zanahoria), el **licopeno** (color rojo; tomates) cuyas estructuras son:



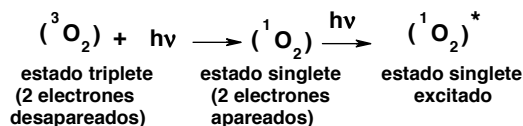
Además de su papel como pigmentos auxiliares, los carotenoides juegan un papel muy importante en la **fotoprotección**. Las membranas fotosintéticas pueden ser dañadas fácilmente por la gran cantidad de energía absorbida por los pigmentos si esa energía no puede ser almacenada fotoquímicamente; por ello es necesario un mecanismo de protección.

El mecanismo de fotoprotección es como una válvula de seguridad que elimina el exceso de energía antes de que esta pueda dañar al organismo. Cuando la energía almacenada en el estado excitado de las clorofilas es rápidamente disipada por transferencia de energía de excitación o fotoquímica, se dice que el estado excitado se ha desactivado.

Si el estado excitado de la clorofila no es desactivado rápidamente por transferencia de energía de excitación o fotoquímica, puede reaccionar con una molécula de oxígeno para formar un estado excitado del oxígeno llamado **singlete**. Recuerdese que el oxígeno en su estado fundamental es un dirradical, en que cada átomo posee un electrón desapareado, y es el estado fundamental en que se halla la molécula de oxígeno en la naturaleza.

El oxígeno en la naturaleza se encuentra en el estado **triplete**, que se caracteriza por poseer menor nivel energético y porque los espines

electrónicos de los dos electrones impares sobre los átomos de oxígeno se hallan apareados. En el estado singlete excitado los electrones siguen apareados pero se encuentran en un nivel superior de energía:



La elevada reactividad del oxígeno singlete permite que reaccione y dañe muchos compuestos celulares, especialmente a los lípidos. Los carotenoides ejercen su acción protectora desactivando rápidamente el estado excitado de la clorofila. Además, el estado excitado del carotenoide no posee energía suficiente como para formar oxígeno singlete, por lo que decae rápidamente a su estado fundamental, perdiendo esta energía en forma de calor.

Los organismos que carecen de carotenoides no pueden vivir en presencia de luz y de oxígeno molecular, una situación difícil para los organismos fotosintéticos productores de oxígeno. Para bacterias fotosintéticas que no generan oxígeno, los mutantes que carecen de carotenoides pueden vivir en condiciones de laboratorio si se elimina el oxígeno del medio de crecimiento.

El exceso de luz puede dañar los sistemas fotosintéticos y existen varios mecanismos que minimizan dicho daño. Los carotenoides actúan como agentes fotoprotectores que desactivan rápidamente el estado excitado de las clorofilas.

• Algunas xantofilas participan en la disipación de la energía

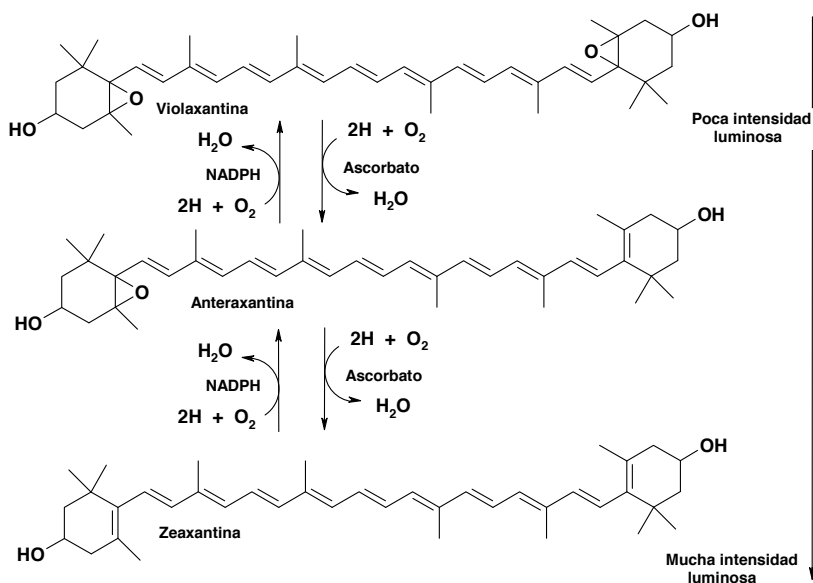
La atenuación no fotoquímica es el principal proceso de regulación de transferencia de energía de excitación al centro de reacción y puede ser considerada como un controlador que ajusta el flujo de excitación al centro reaccional del PSII a un nivel adecuado, dependiendo de la intensidad de la luz y de otras condiciones. El proceso parece jugar un papel esencial en la regulación de los complejos antena en la mayoría de algas y plantas.

La **atenuación no fotoquímica** (ANF), atenuación fluorescente de la clorofila por otros procesos diferentes del fotoquímico. Como consecuencia de la ANF, la mayor parte de las excitaciones en los complejos antena provocadas por una iluminación intensa, son desactivadas en forma de calor. Se cree que la ANF está implicada en la maquinaria de producción fotosintética frente a la sobreexcitación y el consiguiente daño.

El mecanismo molecular de la ANF no se conoce bien, aunque está claro que los factores más importantes son:

- El pH del lumen de los tilacoides.
- El estado de agregación de los complejos antena.

Tres carotenoides, denominados xantofilas, están implicados en la ANF: violaxantina, anteraxantina y zeaxantina:

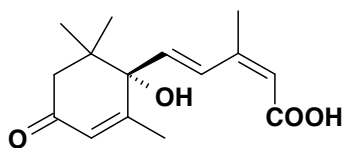


En presencia de luz muy intensa, la violaxantina es convertida en zeaxantina, a través de la anteraxantina como intermediario, por el enzima violaxantina depoxidasa. Cuando la intensidad luminosa disminuye, el proceso se invierte. Se cree que la unión de protones y zeoxantina a las proteínas del complejo antena, provoca cambios conformacionales que conducen a la desactivación y disipación en forma de calor.

La ANF parece estar asociada preferentemente a los complejos antena periféricos del fotosistema, las llamadas proteínas PsbS.

El ácido abscísico (ABA) es una hormona de naturaleza terpenoide (C_{15}) producida por degradación de un precursor con estructura de carotenoide. Su estructura se parece a la parte terminal de los carotenoides, que puede existir como dos diastereómeros del doble enlace que contiene el grupo carboxilo. En la práctica casi todo el ABA que se encuentra en la naturaleza es el diastereómero Z y por ello el término A. abscísico alude a ese diastereómero, siendo la configuración del único centro estereogénico que presenta es de configuración (S). Este es el único metabolito activo en las respuestas rápidas, tales como el cierre de estomas. En las respuestas a largo plazo, tales como la maduración de las semillas, son activos los dos

enantiómeros. Es interesante resaltar que los diastereómeros Z y E son fácilmente interconvertibles en condiciones naturales, pero no ocurre lo mismo con los dos enantiómeros (S) y (R). Este ácido estimula la producción de etileno actuando como una fitohormona, inhibiendo el crecimiento y la apertura estomática, particularmente cuando la planta se halla sometida a condiciones de estrés. Otra función importante es la regulación de la maduración de la semilla y la dormición, razón por la que algunos autores han sugerido (sin éxito) el nombre de dormina para esta hormona. El ABA se sintetiza a partir de la ruta de los carotenoides en cloroplastos y otros plastos.



A. abscísico (ABA) (C₁₅)

Finalmente, los alcoholes politerpénicos conocidos como **dolicoles** actúan como transportadores de azúcares en células y en la síntesis de glicoproteínas. Cadenas laterales derivadas de terpenos como las que contienen la clorofila y el fitol ayudan al anclaje de ciertas moléculas en las membranas.

La mayor parte de los terpenos, sin embargo, son metabolitos secundarios implicados en la defensa de las plantas.

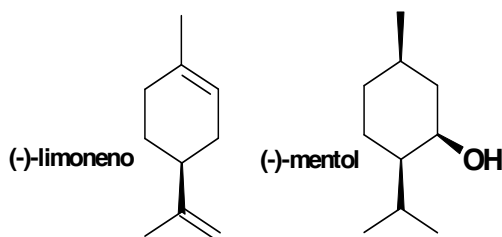
• Los terpenos defienden a las plantas frente al ataque de los herbívoros

Los terpenos son toxinas y repelentes de un gran número de insectos y mamíferos herbívoros, por lo que parecen jugar un importante papel defensivo en el reino vegetal. Por ejemplo, los ésteres de monoterpenos llamados **piretroides**, aislados de las hojas y flores de especie de *Chrysanthemum*, muestran potentes actividades insecticidas. Los piretroides naturales y los sintéticos son ingredientes frecuentes en diversos insecticidas comerciales a causa de su baja persistencia en el medio y su casi despreciable toxicidad frente a los mamíferos.

En coníferas como el pino y el abeto, los monoterpenos se acumulan en los conductos de resina en acículas, ramitas y troncos. Estos compuestos son tóxicos frente a muchos insectos incluyendo el escarabajo de la corteza, plaga que constituye una seria amenaza para diversas especies de coníferas a través de todo el mundo. Muchas coníferas responden a esta infestación produciendo cantidades adicionales de monoterpenos que actúan como defensa química.

Muchas plantas contienen mezclas de monoterpenos y sesquiterpenos volátiles, conocidos como **aceites esenciales**, que proporcionan un olor

característico a sus hojas. La menta, el limón, la albahaca y la salvia, son ejemplos de plantas que contienen aceites esenciales. El principal monoterpeno constituyente del aceite de menta es el **mentol** y el del limón es el **limoneno**:



Los aceites esenciales son bien conocidos por sus propiedades repelentes de insectos. Con frecuencia se encuentran en los pelos glandulares que se proyectan desde la epidermis y sirven para avisar (prevenir a los predadores) de la toxicidad de la planta, actuando como un potencial repelente de herbívoros, antes de haber efectuado un mordisco de prueba. En los pelos glandulares los terpenos se almacenan en un espacio extracelular modificado de la pared celular.

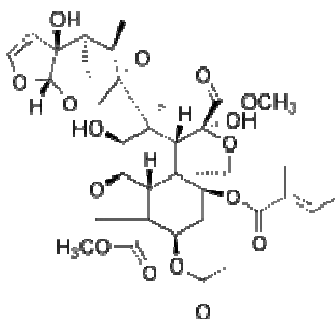
Los aceites esenciales pueden extraerse de la planta por destilación por arrastre en corriente de vapor y son comercialmente importantes como aromas alimentarios y para fabricar perfumes.

Investigaciones recientes han revelado una interesante peculiaridad en el papel de los terpenos volátiles para la protección de la planta. En maíz, algodón, tabaco silvestre y otras especies, ciertos monoterpenos y sesquiterpenos son producidos y emitidos una vez el insecto ha iniciado su ataque. Estas sustancias repelen insectos herbívoros ovíparos y atraen a sus enemigos naturales, como insectos predadores y parásitos, que matan a los insectos herbívoros, ayudándoles a minimizar los daños. Es decir, los terpenos volátiles no sólo suponen un método de defensa *per se*, sino que además proporcionan una llamada para ser defendidas por otros organismos. La capacidad de las plantas de atraer a los enemigos naturales de los insectos herbívoros se presenta como una nueva posibilidad en el control ecológico de las plagas.

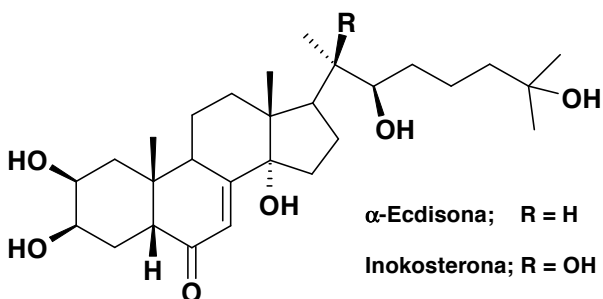
Entre los terpenos no volátiles antiherbívoros se encuentran los llamados **limonoides**, que son un grupo de triterpenos (C_{30}), conocidos como sustancias amargas de los cítricos. Quizás el más poderoso de los repelentes de insectos sea la **azadiractina**, un limonoide complejo presente en el árbol *Azadirachita indica* de África y Asia. La azadirachtina es un tetranortriterpenoide altamente oxidado que tiene gran cantidad de funciones oxigenadas tales como enol éter, acetal, hemiacetal y oxirano

tetra substituido como así también una variedad de ésteres carboxílicos. Se clasifica entre los insecticidas provenientes de las plantas.

Esta sustancia es un repelente alimentario de enorme potencia contra insectos a dosis tan bajas como 50 ppb que provoca numerosos efectos tóxicos. Tiene un considerable potencial como insecticida comercial para el control de plagas debido a su baja toxicidad en mamíferos. Actualmente hay preparaciones comerciales contenido azadiractina que están siendo usadas en Norte América e India.

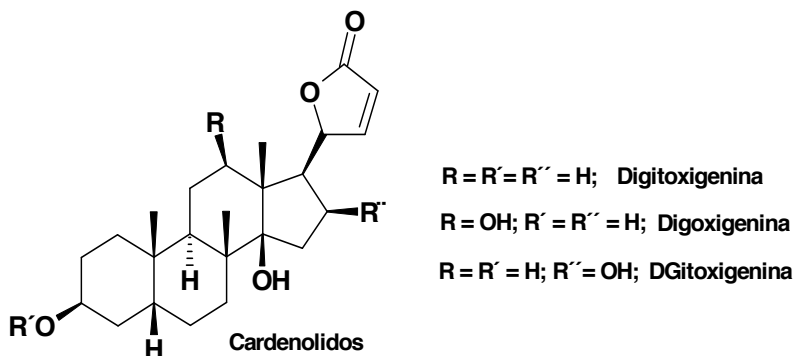


Las **fitoecdisonas**, que fueron aisladas inicialmente del helecho *Polypodium vulgare*, son un grupo de esteroides vegetales con la misma estructura básica que las hormonas de la muda de los insectos. La ingestión de fitoecdisonas por los insectos interrumpe la muda y otros procesos de desarrollo, teniendo con frecuencia efectos letales.



Los triterpenos activos contra herbívoros vertebrados incluyen los **cardenólidos** y las **saponinas**. Los primeros son **glicósidos** que confieren un sabor amargo y son extremadamente tóxicos en los animales superiores. En el hombre sus efectos son dramáticos en el músculo del corazón por su acción sobre las Na⁺/K⁺ - ATPasas. En dosis cuidadosamente reguladas, ralentizan y refuerzan el latido del corazón, por lo que los cardenólidos

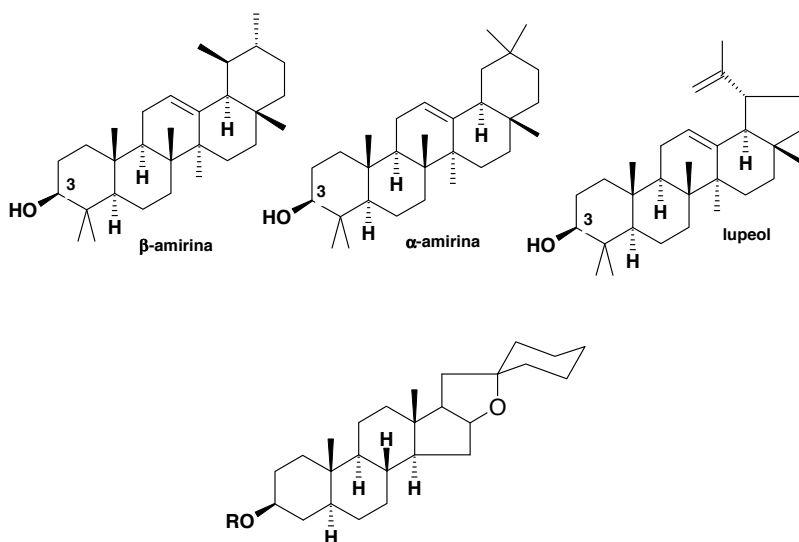
extraídos de especies de *Digitalis* son recetados a millones de pacientes para el tratamiento de enfermedades cardiacas. En lo referente a su estructura contienen un esqueleto esteroideal (llamado **genina**) unido a un resto de azúcar (mono, di o trisacárido) por un enlace O-glicosídico. Se conocen varias geninas (**digitoxigenina**, **digoxigenina**, **gitoxigenina**, etc.) cuyas estructuras a continuación exponemos:



Las saponinas son **esteroides** y **glicósidos triterpénicos** que deben su nombre a sus propiedades jabonosas. La presencia en una única molécula de elementos solubles en lípidos (el esteroide o el triterpeno) y en agua (el azúcar) confiere a las saponinas propiedades detergentes, formando una cubierta jabonosa cuando se agitan en agua. Se cree que la toxicidad de las saponinas se debe a su capacidad para formar complejos con los esteroides, lo que permite que puedan interferir con la absorción de estos esteroides en el aparato digestivo o bien romper membranas celulares una vez han sido incorporadas al torrente sanguíneo.

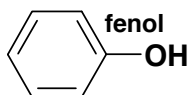
Las saponinas vegetales suelen derivar de los triterpenos α - y β -amirina y del lupeol, que se hallan unidos a un resto azúcar a través del hidroxilo de C-3 por un enlace O-glicosídico y se encuentran preferentemente en plantas dicotiledóneas, mientras que la saponinas esteroidales presentan el clásico esqueleto tetracíclico típico de los esteroides que se halla unido a un resto azúcar unido sobre C-3, que suele ser de hasta cinco moléculas (glucosa, arabinosa, ácido glucurónico, xilosa y ramnosa), y es interesante señalar que algunas saponinas esteroidales presentan un resto de azúcar adicional que se sitúa sobre C-26 o C-28. Las saponina esferoidales se hallan más frecuentemente en la plantas monocotiledóneas.

A continuación mostramos las estructuras de ejemplos de saponinas esteroidales triterpénica (amirinas y lupeol) y esteroidales (tomatina, gzonina, α -digitonina, α -chaconina, y avenacina). Estos compuestos presentan una notable actividad antifúngica.



B. Compuestos fenólicos

Las plantas producen una gran variedad de productos secundarios que contienen un grupo fenol. Estas sustancias se clasifican como productos fenólicos y forman un grupo heterogéneo de casi 10.000 compuestos, algunos de los cuales son solubles en disolventes orgánicos, otros son glicósidos y ácidos carboxílicos solubles en agua, mientras que otros son grandes polímeros muy insolubles.

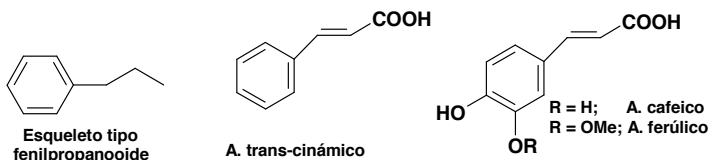


De acuerdo con su diversidad química los fenoles tienen funciones muy diversas en las plantas y así, algunos tienen función de defensa contra herbívoros y patógenos, otros participan en soportes mecánicos, como atrayentes de polinizadores, dispersante de frutos, en la absorción de radiación ultravioleta dañina o en la reducción del crecimiento de las plantas competidoras próximas.

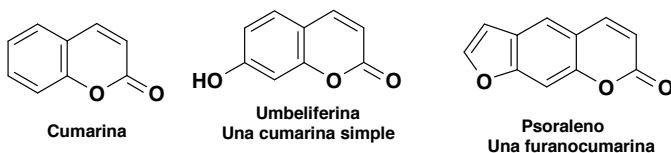
• Ciertos compuestos fenólicos son activados por la luz ultravioleta

Los compuestos fenólicos simples están muy extendidos en las plantas vasculares y parecen funcionar de diferente manera. Entre sus estructuras destacaremos las siguientes:

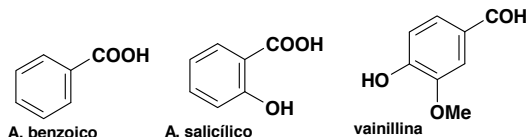
- **Fenilpropanoides simples**, tales como el ácido trans-cinámico, el ácido p-cumárico y sus derivados (como los ácido cafeico y ferúlico), que tienen un esqueleto carbonado básico tipo fenilpropanoide:



- **Lactonas fenilpropanoides, conocidas como cumarinas**, que contienen un anillo de δ -lactona sobre un esqueleto de fenilpropanoide, de las que citaremos la **umbeliferina** y el **psoraleno**:



- **Derivados del ácido benzoico**, que esencialmente son fenilpropanoides cuyo esqueleto ha perdido dos átomos de carbono entre los que citaremos el **Ácido salicílico** y la **vainillina**:



Muchos compuestos fenólicos simples tienen funciones importantes en las plantas como defensas frente a insectos, herbívoros y hongos.

Tienen especial interés la fototoxicidad de ciertas cumarinas, concretamente las llamadas furanocumarinas, que estructuralmente contiene un anillo tipo furano condensado sobre el anillo cumarínico, tal ocurre con el psoraleno. Estos compuestos no son tóxicos hasta que son activados por la luz. La luz solar en la región ultravioleta (320-400 nm) provoca que algunas furanocumarinas pasen del estado fundamental a un estado electrónico excitado de mayor energía y estas furanocumarinas activadas pueden introducirse en la doble hélice del DNA y unirse a las bases pirimidínicas (citocina y timina) bloqueando así la transcripción y la reparación lo que provoca la muerte de la célula.

Las furanocumarinas fototóxicas son especialmente abundantes en las plantas pertenecientes a la familia Umbelliferae, que incluye especies como el apio, la chirivía y el perejil. En el apio el nivel de estos compuestos

puede aumentar hasta 100 veces si la planta se halla sometida a estrés o enfermedades. Se ha descrito la aparición más o menos súbita de erupciones cutáneas en los recolectores de apio y algunas verduleras, lo que se atribuye al manejo de plantas de apio enfermas o estresadas.

Algunos insectos se han adaptado a sobrevivir en plantas que sintetizan furanocumarinas y otros compuestos fotóxicos, viviendo en telaraña donde no reciben las longitudes de onda activadoras.

- **La liberación de compuestos fenólicos al suelo limita el crecimiento de otras plantas**

Las plantas liberan al entorno una gran variedad de productos a través de las hojas, raíces y los restos que caen al suelo. La investigación de los efectos de estos compuestos en las plantas vecinas es conocida como **alelopatía**. Si una planta puede reducir el crecimiento de las plantas vecinas por liberación de productos químicos al suelo, puede aumentar su disponibilidad de luz, agua y de nutrientes y, por tanto, su ventaja evolutiva. En general el término alelopatía se ha aplicado a los efectos dañinos de las plantas sobre sus vecinas, aunque la definición precisa incluye también los efectos beneficiosos.

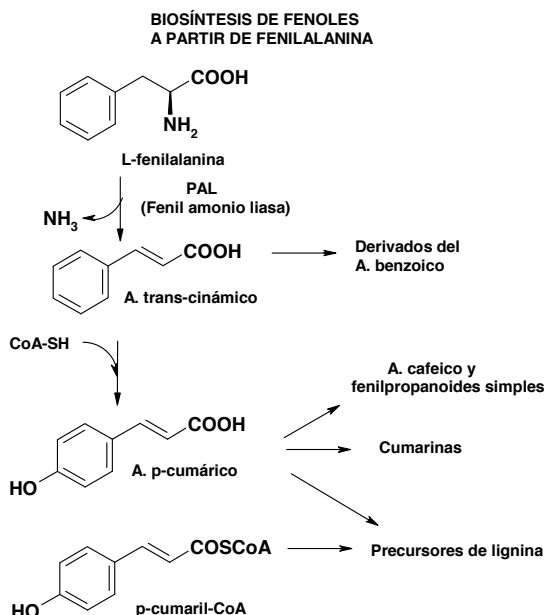
Los fenilpropanoides simples y derivados del ácido benzoico son descritos frecuentemente como poseedores de una actividad alelopática. Compuestos como el ácido cafeico y el ácido ferúlico se encuentran en el suelo en cantidades apreciables y, en experimentos de laboratorio, se ha demostrado su papel como inhibidores de la germinación y del crecimiento de muchas plantas.

A pesar de estos resultados, la importancia de la alelopatía en los ecosistemas naturales es controvertida. Muchos científicos dudan que la alelopatía sea un factor significativo en las interacciones planta-planta, debido a la dificultad de obtener pruebas evidentes de este fenómeno. Es fácil demostrar que, extractos o compuestos purificados de una planta pueden inhibir el crecimiento de otra planta en experimentos de laboratorio, pero es muy difícil demostrar que estos compuestos están presentes en el suelo en concentraciones adecuadas como para inhibir el crecimiento. Además, algunas sustancias orgánicas del suelo están con frecuencia unidas a partículas del mismo, por lo que pueden ser degradadas fácilmente por microbios.

A pesar de la falta de evidencias que la apoyen, el gran interés sobre la alelopatía deriva de sus potenciales aplicaciones agrícolas. Puede que, en algunos casos, las reducciones en el rendimiento de las cosechas sean provocadas por la alelopatía de malas hierbas o residuos de un cultivo anterior. Un interesante proyecto de futuro es el desarrollo de cultivos vegetales modificados genéticamente para ser alelopáticos de las malas hierbas.

- **La lignina es una macromolécula fenólica compleja**

Después de la celulosa, la sustancia orgánica más abundante en las plantas es la **lignina**, un polímero altamente ramificado de los grupos fenilpropanoides que desempeña funciones tanto primarias como secundarias. No se conoce la estructura precisa de la lignina, debido a la dificultad de extraerla de las plantas, ya que se encuentra unida de manera covalente a la celulosa y otros polisacáridos de la pared celular.



La lignina está formada generalmente tres derivados fenilpropanoides diferentes: los alcoholes **coniferílico**, **cumárico** y **sinapílico**, sintetizados a partir de la **fenilalanina** a través de varios derivados del **ácido cinámico**. Los alcoholes anteriores se unen formando un polímero por la acción de enzimas que generan intermedios con estructura de radicales libres. Las proporciones de las tres unidades monoméricas en la lignina varían entre especies, órganos vegetales e incluso entre las capas de una pared celular. En este polímero, con frecuencia hay muchos enlaces C-C y C-O-C de cada unidad de alcohol fenilpropanoide, generando una estructura compleja que se ramifica en tres dimensiones.

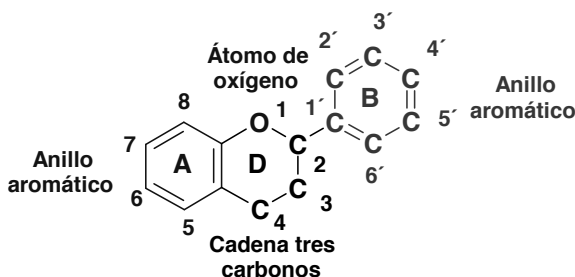
A diferencia de polímeros como almidón, caucho o celulosa, las unidades de lignina no parecen estar unidas de un modo único y repetitivo. Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que una proteína guía puede unir las unidades fenilpropanoide durante la biosíntesis, dando lugar a una estructura que dirige la formación de una gran unidad repetitiva.

La lignina se encuentra en la pared celular de varios tipos de tejidos de soporte y de transporte, sobre todo, en las traqueidas y en los elementos de los vasos del xilema. Se deposita principalmente en la pared secundaria engrosada, pero también se encuentra en la pared primaria y en la lámina media, en estrecho contacto con las celulosas y las hemicelulosas presentes. La rigidez mecánica de la lignina fortalece los tallos y tejidos vasculares, permitiendo el crecimiento vertical y la conducción del agua y los minerales a través del xilema bajo presión negativa sin colapsar el tejido. Dado que la lignina es un componente clave en los tejidos de transporte de agua, la capacidad de síntesis de lignina es una de las adaptaciones más importantes que permitieron a las plantas primitivas colonizar la tierra firme.

Además de proporcionar soporte mecánico, la lignina tiene una función protectora significativa en las plantas. Su resistencia evita que las plantas sean alimento para animales y su estabilidad química hace que sea relativamente difícil de digerir para los herbívoros. Por unión a celulosa y proteínas, la lignina reduce la digestibilidad de estas sustancias. Finalmente, la lignificación bloquea el crecimiento de patógenos y es una respuesta frecuente ante una infección o una herida.

• Flavonoides: sus clases

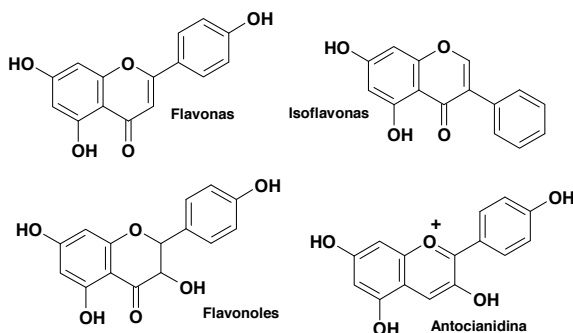
Los flavonoides son una de las principales clases de fenoles vegetales. El esqueleto básico de un flavonoide contiene quince átomos de carbono, repartidos entre dos anillos aromáticos A y B, que se unen entre sí a través de dos puentes, uno de ellos constituido por tres átomos de carbono y otro por un único átomo de oxígeno (D).



La estructura global de un flavonoide proviene de dos rutas biogénicas diferentes, una la ruta del ácido siquímico vía fenilalanina y el otro anillo aromático incluido el átomo de oxígeno proviene de la ruta del ácido malónico (el anillo aromático del que no se han destacado los C y el átomo de O).

Los flavonoides se clasifican en diferentes grupos, tomando como base el grado de oxidación del puente de tres carbonos: **flavonas**, **isoflavonas**,

flavonoles y antocianidinas. Las flaonas y las isoflavonas no presentan funciones hidroxilo sobre el puente de tres carbonos, mientras que los flavonoles presentan un hidroxilo sobre C-3. Finalmente, las antocianidinas carecen del grupo cetónico sobre C-4 y a cambio el anillo central se halla aromatizado, presentando una estructura de sal de pirilio:



Sobre el esqueleto aromático de los flavonoides suelen existir varios grupos hidroxilo, concretamente dos sobre las posiciones C-7, C-4 y C-5, aunque existen otros en los que los grupos hidroxilos se hallan en otras posiciones. Es frecuente además que los flavonoides se presenten como glicósidos.

Mientras que los grupos hidroxilos y los azúcares aumentan la solubilidad de los flavonoides en agua, otros sustituyentes como metoxilos (OMe) o unidades modificadas de isopentiolo hacen que los flavonoides tengan un marcado carácter lipófilo (hidrofóbico).

Los diferentes tipos de flavonoides realizan funciones muy diversas en las plantas, incluyendo la pigmentación y la defensa.

• Las antocianinas como atrayentes de animales

Además de la interacción depredador-presa, existen otras asociaciones entre plantas y animales. De hecho, paralelamente a la ingesta del néctar o la pulpa del fruto, los animales llevan a cabo un servicio extremadamente importante para las plantas como agentes transportadores del polen y las semillas. Los MS están implicados en estas interacciones planta-animal, ayudando a atraer a los animales a las flores y frutos o proporcionando señales visuales y olfativas.

Los pigmentos coloreados de las plantas pertenecen a dos tipos principales: **carotenoides** y **flavonoides**. Los primeros son compuestos amarillos, naranjas y rojos, que sirven como pigmentos auxiliares en la fotosíntesis y los segundos, como ya hemos visto, son pigmentos fenólicos que incluyen un amplio rango de sustancias coloreadas.

El grupo más extendido de flavonoides pigmentados es el de las **antocianinas**, responsables de la mayoría de los colores rojo, morado y azul de las plantas. Debido a que colorean flores y frutos, las antocianinas son muy importantes en la atracción de animales para la polinización y la dispersión de las semillas.

Las antocianinas son glicósidos que tienen un azúcar en C-3 y en ocasiones en alguna otra posición. Cuando carecen de azúcar se las conoce como **antocianidinas**. El color de estos compuestos depende de diversos factores, fundamentalmente:

- El número de hidroxilos y metoxilos en el anillo B de la antocianidina.
- La presencia de ácidos aromáticos esterificados en el anillo principal.
- El pH de las vacuolas celulares que almacenan estos pigmentos.

Las antocianinas también pueden presentarse como complejos supramoleculares junto a iones metálicos quelados y flaconas y se ha demostrado que los pigmentos azules de la comelina (*Commelina comunis*) están formados por un gran complejo de seis moléculas de antocianinas, seis flavonas y dos cationes magnesio asociados.

Los colores de las antocianidinas dependen en parte de los sustituyentes del anillo B y así, un aumento en el número de grupos hidroxilo desplaza la absorción a una longitud de onda mayor, dando una coloración azul y la sustitución de un hidroxilo por un grupo metoxilo, desplaza la absorción a una longitud de onda más corta, proporcionando un color rojo.

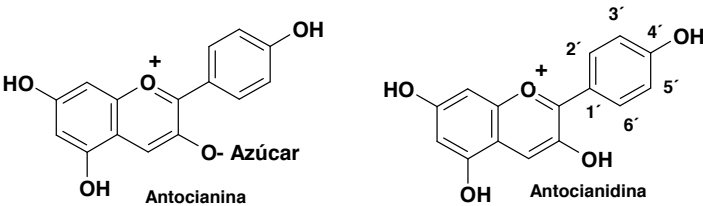


Tabla 1. Efectos de los sustituyentes del anillo en el color de las antocianidinas.

Antocianidina	Sustituyentes	Color
Pelargonidina	4'- OH	Rojo naranja
Cianidina	3'- OH; 4'- OH	Rojo púrpura
Delfinidina	3'- OH; 4'- OH; 5'- OH	Azul púrpura
Peonidina	3'- OCH ₃ ; 4'- OH	Rojo rosado
Petunidina	3'- OCH ₃ ; 4'- OH; 5'- OCH ₃	Púrpura

Teniendo en cuenta la gran variedad de factores que afectan la coloración en las antocianidinas y la posible presencia de carotenoides, no es sorprendente que en la naturaleza existan muchos colores de frutos y flores. La evolución del color de las flores ha podido estar determinada por

la presión selectiva de diferentes polinizadores que, con frecuencia, tienen preferencia por diferentes colores.

El color, desde luego, es un tipo de señal usado por las flores para atraer a los polinizadores. Los compuestos volátiles, particularmente los monoterpenos, proporcionan los olores atractivos.

• Los flavonoides protegen del daño provocado por la luz ultravioleta

Los otros dos grupos de flavonoides que se encuentran en las flores son las **flavonas** y los **flavonoles**. Estos flavonoides generalmente absorben luz a longitudes de onda más cortas que las antocianinas, por lo que no son visibles para los humanos. Sin embargo, los insectos como las abejas, que ven el rango UV del espectro, responden a flavonas y flavonoles como señales de atracción. Los flavonoles en una flor suelen formar patrones simétricos de rayas, manchas o círculos concéntricos llamadas **guías de néctar**. Estos patrones pueden ser visibles para los insectos y les ayudan a localizar el polen y el néctar.

Las flavonas y los flavonoles no están restringidos a las flores, sino que además están presentes en las hojas de casi todas las plantas verdes. Estas dos clases de flavonoides protegen a las células del exceso de radiación UV-B (280-320 nm) porque se acumulan en las capas epidérmicas de hojas y tallos y absorben intensamente en la región del UV-B permitiendo a la luz visible (fotosintéticamente activa) penetrar de forma ininterrumpida. Además, la exposición de las plantas a un incremento de luz UV-B incrementa la biosíntesis de flavonas y flavonoles.

Los mutantes de *Arabidopsis thaliana* que carecen del enzima chalcona sintasa no pueden producir flavonoides y al carecer de estas sustancias, las plantas son mucho más sensibles a la radiación UV-B que las plantas silvestres y crecen muy poco en condiciones normales. Cuando se elimina la luz UV-B crecen normalmente. En la protección frente a la radiación UV en *Arabidopsis* también son importantes un grupo de ésteres de fenilpropanoides sencillos.

Recientemente, se han descubierto otras funciones de los flavonoides. Por ejemplo, las flavonas y flavonoles secretadas al suelo por las raíces de las leguminosas median la interacción de las legumbres y los simbiontes fijadores de nitrógeno. Trabajos recientes sugieren que los flavonoides también juegan un papel regulador en el desarrollo vegetal como moduladores del transporte polar de auxinas.

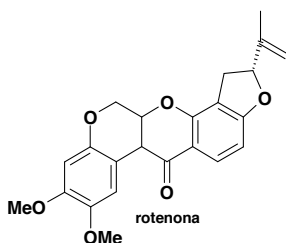
• Los flavonoides tienen actividad antimicrobiana

Las **isoflavonas** son un grupo de flavonoides en los que la posición del anillo aromático B está cambiada y en lugar de hallarse enlazado a C-2 se halla sobre C-3. Se encuentran frecuentemente en las legumbres y tienen

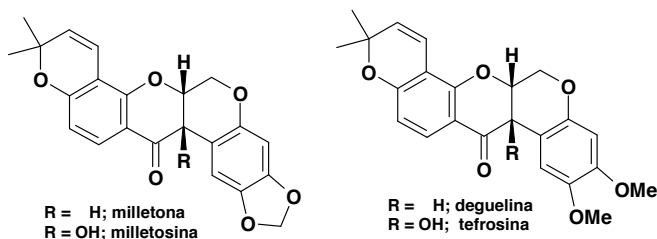
funciones diferentes. Algunos como los **rotenoides**, tienen una potente actividad insecticida y otros tienen actividad antiestrogénica y así, se sabe que el ganado que pascaba en campos con abundante trébol suele padecer de infertilidad. El sistema de anillos de los isoflavonoides tiene una estructura tridimensional similar a la de los esteroides, lo que permite a estas sustancias unirse a receptores de estrógenos.

Los isoflavonoides también pueden ser los responsables de las propiedades anticancerígenas de los alimentos preparados con soja. En los últimos años, los isoflavonoides que han llegado a conocerse mejor son las **fitoalexinas**, compuestos antimicrobianos sintetizados en respuesta a la infección fúngica o bacteriana que ayudan a limitar la invasión del patógeno y que serán analizadas más adelante.

Entre los rotenoides citaremos la **rotenona** presente en varias plantas (*Derris elliptica*, *Lonchocarpus* y *Tephrosia*) que entre otros efectos provoca, depresión de los movimientos respiratorios, disminución de los latidos cardíacos, con un bloqueo de la utilización de oxígeno. A continuación se muestra la estructura de la **rotenona**:



Otros rotenoides bioactivos han sido aislados de las raíces de *Lonchocarpus* y entre ellos citaremos **milletona**, **milletosina**, **deguelina** y **tephrosina** cuyas estructuras se muestran a continuación, siendo destacable su acción insecticida:

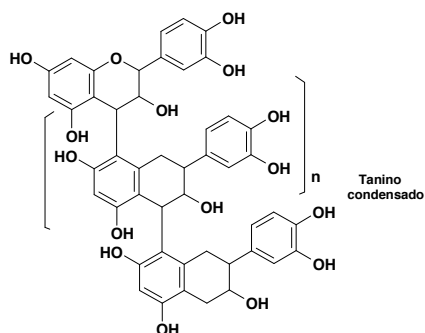


• Los taninos disuaden a los herbívoros

Una segunda clase de polímero fenólico vegetal con propiedades defensivas, además de la lignina, son los **taninos**. Este término fue usado por primera vez para describir aquellos compuestos que podían convertir la

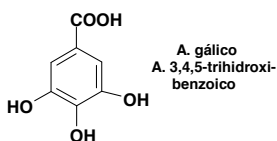
piel animal en cuero, en el proceso conocido como curtido, término que en inglés se expresa como “tanning”. Los taninos se unen al colágeno de las pieles animales, aumentando se resistencia al calor, al agua y a los microbios.

Hay dos clases de **taninos** conocidos unos como **condensados** y otros como **hidrolizables**. Los taninos condensados son compuestos formados por la polimerización de unidades de flavonoides y son constituyentes frecuentes de las plantas leñosas. Dado que los **taninos condensados** al ser tratados con ácidos fuertes se hidrolizan convirtiéndose en **antocianidinas**, se les ha designado en ocasiones como **proantocianidinas**.



Los **taninos hidrolizables** son polímeros heterogéneos que contienen ácidos fenólicos, sobre todo **ácido gálico** y **azúcares simples**. El ácido gálico es un compuesto aromático que posee una estructura fenólica y que formalmente deriva del ácido benzoico, por lo que su nombre sistemático es ácido 3,4,5-trihidroxi-benzoico.

Los taninos hidrolizables son más pequeños que los taninos condensados y se hidrolizan más fácilmente en presencia de ácidos diluidos. La mayoría de los taninos hidrolizables tienen masas moleculares comprendidas entre 600 y 3000.



Los taninos se extraen de las plantas con agua o con una mezcla de agua y alcohol, que luego se decanta y se deja evaporar a baja temperatura hasta obtener el producto final. Los taninos tienen un ligero olor característico, sabor amargo y astringente, y su color va desde el amarillo hasta el castaño oscuro. Expuestos al aire se tornan oscuros y pierden su

efectividad para el curtido. Los taninos se utilizan en el curtido porque reaccionan con las proteínas de colágeno presentes en las pieles de los animales, uniéndolas entre sí, de esta forma aumenta la resistencia de la piel al calor, a la putrefacción por agua, y al ataque por microbios.

En las plantas cumplen funciones de defensa ante el herbivorismo. Los taninos en general son toxinas que reducen significativamente el crecimiento y la supervivencia de muchos herbívoros cuando se adicionan a su dieta. Además, tienen potencial de producir rechazo al alimento en una gran diversidad de animales. Los mamíferos como la vaca, el ciervo y el simio característicamente evitan a las plantas o partes de las plantas con alto contenido de taninos. Las frutas no maduras, por ejemplo, con frecuencia tienen altos contenidos de taninos, que pueden estar concentrados en las capas celulares más externas de la fruta.

Es interesante el dato de que los humanos usualmente prefieren un cierto nivel de astringencia en las comidas que contienen taninos, como las manzanas, las zarzamoras, y el vino tinto. Recientemente, los taninos del vino tinto mostraron poseer propiedades para bloquear la formación de endotelina-1, una molécula señal que produce la constricción de los vasos sanguíneos, lo cual disminuiría el riesgo de enfermedades cardíacas a aquellos que consuman vino tinto en forma moderada.

Si bien hay taninos específicos que pueden ser saludables para el hombre, en general son tóxicos, debido a las mismas propiedades que los hace buenos para la curtiembre: su capacidad de unir entre sí proteínas de forma no específica. Durante mucho tiempo se pensó que los taninos formaban complejos con las proteínas del intestino de los herbívoros formando puentes de hidrógeno entre sus grupos hidroxilo y los sitios electronegativos de la proteína, pero evidencia más reciente también avala una unión covalente entre los taninos (y otros compuestos fenólicos provenientes de las plantas) y las proteínas de los herbívoros que los consumen. El follaje de muchas plantas contiene enzimas que oxidan los fenoles a sus formas quinona en los intestinos de los herbívoros. Las quinonas son altamente reactivas, electrofílicas, y reaccionan con los grupos de proteínas nucleofílicos $-NH_2$ y $-SH$. Cualquiera sea el mecanismo por el que ocurra la unión proteína-tanino, este proceso tiene un impacto negativo en la nutrición de los herbívoros. Los taninos pueden inactivar las enzimas digestivas de los herbívoros y crear complejos agregados de taninos y proteínas de plantas que son difíciles de digerir.

Los herbívoros que habitualmente se alimentan de material rico en taninos parecen poseer algunas interesantes adaptaciones para eliminar los taninos de sus sistemas digestivos. Por ejemplo, algunos mamíferos como los ratones y los conejos, producen proteínas en la saliva que tienen un alto contenido de prolina (25-45%), que tiene una gran afinidad por los taninos. La secreción de estas proteínas es inducida por la ingestión de comida con

un alto contenido de taninos, y su efecto es la disminución en una medida importante de los efectos adversos de la ingestión de taninos. La alta cantidad de residuos de prolina le otorga a estas proteínas una conformación muy flexible y abierta, y un alto grado de hidrofobia que facilita su unión con los taninos.

Los taninos de las plantas también funcionan como defensas contra los microorganismos. Por ejemplo, el corazón de madera muerta de muchos árboles contiene altas concentraciones de taninos que ayudan a prevenir el desmoronamiento por ataques de hongos y bacterias patógenos.

C. Compuestos nitrogenados

Existe una gran cantidad de metabolitos secundarios que contienen nitrógeno en sus estructuras. En esta clase están incluidas las defensas contra herbívoros conocidas como **alcaloides** y **glicósidos cianogénicos**, que son de gran interés debido a su toxicidad para el hombre y a sus propiedades medicinales. Muchos metabolitos secundarios nitrogenados se biosintetizan a partir de aminoácidos comunes.

A continuación examinaremos las estructuras y propiedades biológicas de varios MS nitrogenados tales como **alcaloides**, **glicósidos cianogénicos**, **glucosinolatos** y **aminoácidos no proteicos**. Además, analizaremos la capacidad de la **sistemina**, una proteína liberada en las células dañadas, para actuar como señal de la existencia de una herida para el resto de la planta.




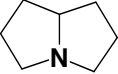
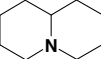
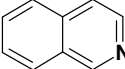
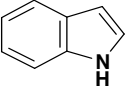
• Los alcaloides tienen efectos fisiológicos en los animales

Los **alcaloides** comprenden una gran familia de más de 15.000 MS que contienen N y se encuentran aproximadamente en un 20% en las especies de plantas vasculares. En estas sustancias, el átomo de N está formando parte de un **anillo heterocíclico**, es decir un ciclo que contiene átomos de N y de C. Como grupo químico, los alcaloides son los más conocidos por sus impresionantes efectos farmacológicos sobre los animales vertebrados.

Como su propio nombre indica, muchos alcaloides son bases. A los valores de pH normales del citosol (pH = 7,2) o de la vacuola (pH = 5-6), el átomo de N está protonado y por lo tanto el átomo de N está cargado positivamente y en general son solubles en agua.

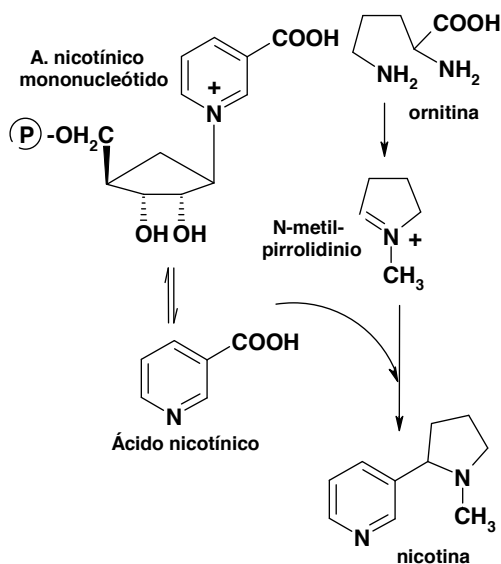
Los alcaloides se sintetizan normalmente a partir de unos pocos aminoácidos comunes, en concreto, lisina, tirosina y triptófano. Sin embargo, el esqueleto carbonado de algunos alcaloides contiene un componente carbonado derivado de la ruta de los terpenos. Los principales tipos de alcaloide, así como los aminoácidos precursores, se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Principales tipos de Alcaloides, sus aminoácidos precursores y ejemplos conocidos.

Clase	Estructura	Precursor	Ejemplos	Usos humanos
Pirrolidina		Ornitina (Aspartato)	Nicotina	Estimulante, calmante, tranquilizante
Tropano		Ornitina	Atropina Cocaína	Prevención espasmos intestinales, antídotos otros venenos, dilatación pupilas, estimulante del SNC, anestésico local
Piperidina		Lisina	Coniina	Veneno; paraliza las neuronas motoras
Pirrolidicina		Ornitina	¿Retrorsina?	Ninguno
Quinololidina		Lisina	Lupinina	Restaura el ritmo cardiac
Isoquinolina		Tirosina	Codeína Morfina	Analgésico, tratamiento tos
Indol		Triptófano	Psococibina Reserpina Estricnina	Alucinógeno, Trto. hipertensión y psicosis, veneno ratas, trto. desórdenes oculares

Otros alcaloides, como la **nicotina** y compuestos relacionados derivan de la **ornitina**, un intermediario en la biosíntesis de la **arginina**. El **ácido nicotínico**, **vitamina B (niacina)** es un precursor del anillo de piridina de este alcaloide, mientras que el anillo de **pirrolidina** procede de la **ornitina**. El **ácido nicotínico** es también un constituyente del **NAD⁺** y **NADP⁺**, dos compuestos que actúan como transportadores de electrones en el metabolismo.

El papel de los alcaloides en las plantas ha sido objeto de especulación a lo largo de los últimos cien años. Durante un tiempo se pensó que los alcaloides eran desechos nitrogenados de modo similar a lo que son la urea y el ácido úrico en los animales, compuestos para el almacenamiento de N o reguladores del crecimiento, pero prácticamente no se tenían pruebas que apoyasen estas hipótesis. Actualmente, se cree que la mayoría de los alcaloides actúan como defensas frente a predadores, especialmente mamíferos, debido a su toxicidad y capacidad de disuasión.



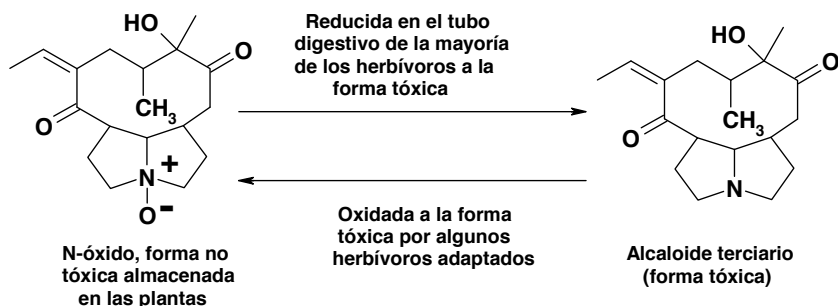
Se conoce muy bien que hay un considerable número de cabezas de ganado que mueren por la ingestión de plantas que contienen alcaloides. En USA, un porcentaje importante de ganado se envenena anualmente por consumo de grandes cantidades de plantas que contienen alcaloides, como son los altramuces (chochos; *Lupinus*), albarraz (*Delphinium*) y la hierba cana (*Senecio*). Este fenómeno puede deberse a que los animales de granja, a diferencia de los salvajes, no han estado sometidos a la presión de la selección natural para distinguir y evitar las plantas tóxicas. De hecho, el ganado prefiere las plantas que contienen alcaloides al forraje, menos dañino.

Casi todos los alcaloides son tóxicos para los humanos cuando se ingieren en cantidades suficientes. Por ejemplo, **estricnina**, **atropina** y **coniina** (del veneno cicuta) son alcaloides que actúan como venenos clásicos. Sin embargo, en pequeñas dosis, pueden ser útiles desde un punto de vista farmacológico. La **morfina**, **codeína** y **escopolamina** son de los alcaloides más usados en medicina. Otros alcaloides como **cocaína**, **nicotina** y **cafeína** no tienen usos médicos, pero su consumo está muy extendido como estimulantes o sedantes.

A nivel celular, el mecanismo de acción de los alcaloides en los animales es bastante variable. Muchos alcaloides interfieren con componentes del sistema nervioso, especialmente los transmisores químicos; otros, afectan al transporte a través de la membrana, a la síntesis de proteínas o a actividades enzimáticas diversas.

Otros grupo de alcaloides derivados de la **pirrolidina**, muestran como los herbívoros se han adaptado para tolerar las sustancias defensivas

vegetales e incluso para usarlas en su propia defensa. En las plantas, los alcaloides de la pirrolicidina se producen naturalmente como N-óxidos no tóxicos. En el tracto digestivo de los herbívoros, no obstante, son reducidos rápidamente a alcaloide terciarios hidrofóbicos no cargado, que atraviesan fácilmente las membranas y son tóxicos.



Algunos herbívoros como la mariposa *Tyria jacobea* han desarrollado la capacidad de reconvertir los alcaloides terciarios de la pirrolicidina en la forma N-óxido no tóxica, inmediatamente después de haberlos absorbido por su tracto digestivo. Estos herbívoros pueden almacenar los N-óxidos en sus cuerpos como defensas contra sus propios depredadores.

No todos los alcaloides que producen las plantas son producidos por ellas mismas. Muchas herbáceas hospedan simbiontes fúngicos endógenos que crecen en el apoplasto y sintetizan una gran variedad de alcaloides. Las herbáceas con hongos simbiontes suelen crecer mejor y estar mejor defendidas de los insectos y mamíferos herbívoros. Desafortunadamente, algunas herbáceas con simbiontes como la festuca (*Festuca arundinacea*), importantes en la hierba de pasto, pueden ser tóxicas para el ganado cuando su contenido en alcaloides es demasiado alto. Actualmente, las investigaciones están dirigidas a obtener festuca con niveles de alcaloides que no sean venenosos para el ganado, pero que sigan proporcionando protección contra los insectos.

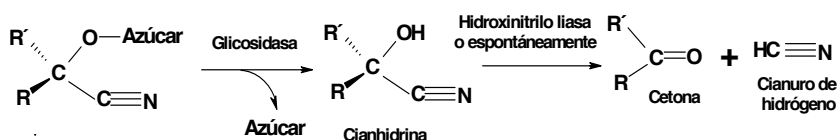
Como los monoterpenos en la resina de las coníferas y otros muchos compuestos de defensa de los herbívoros, los alcaloides aumentan en respuesta a un daño iniciado por un herbívoro, reforzando a la planta para el siguiente ataque. Por ejemplo, *Nicotiana attenuata*, una planta de tabaco silvestre que crece en los desiertos del Great Basin, produce niveles de nicotina después de ser atacada por los herbívoros. No obstante, cuando es atacada por gusanos tolerantes a la nicotina, no se produce un aumento del nivel de esta sustancia, y en su lugar se liberan terpenos volátiles que atraen a los depredadores de los gusanos. Es evidente, que el tabaco silvestre y otras plantas, tienen formas de determinar que tipo de herbívoro está atacando sus hojas. Los herbívoros señalan su presencia por el tipo de daño

que le infligen o por los compuestos químicos distintivos que liberan. Recientemente, se ha demostrado que las secreciones bucales de gusanos que se alimentan de hojas de maíz contienen conjugados de ácidos grasos y aminoácidos, que inducen a la planta a producir terpenos defensivos cuando se aplican a hojas cortadas.

• **Los glicósidos cianogénicos liberan cianuro de hidrógeno venenoso**

En las plantas existen varios compuestos nitrogenados protectores diferentes de los alcaloides. Dos de estos grupos de sustancias son los **glicósidos cianogénicos** y los **glucosinolatos**, compuestos que no son tóxicos por sí mismos, pero que se degradan rápidamente cuando la sustancia es aplastada, liberando venenos volátiles. Los glicósidos cianogénicos liberan un veneno muy conocido que es el gas cianuro de hidrógeno ($\text{H}-\text{C}\equiv\text{N}$).

La ruptura de los glicósidos cianogénicos en una planta es un proceso enzimático que tiene lugar en dos etapas. Las especies que producen glicósidos cianogénicos también poseen las enzimas necesarias para hidrolizar el azúcar y liberar el HCN. En el primer paso, el azúcar es liberado por una glucosidasa, una enzima hidrolítica que separa los azúcares de las moléculas a las que se hallan unidas. En la segunda etapa, el producto liberado en la hidrólisis, que es un α -hidroxinitrilo (cianhidrina), se descompone espontáneamente a baja velocidad para liberar HCN. Este segundo paso puede ser acelerado por la enzima hidroxinitrilo liasa.



En el esquema anterior R y R' pueden ser alquilos (restos de hidrocarburos alifáticos) o arilos (restos de hidrocarburos aromáticos). Si R es un fenilo, R' es un H y el azúcar es el disacárido β -gentobiosa, el compuesto es la amigdalina que se halla presente en las semillas de almendras, albaricoques, cerezas y melocotones.

Los glicósidos cianogénicos (GC), normalmente no se degradan en una planta intacta porque el glicósido y los enzimas degradantes están separados espacialmente, se hallan en diferentes compartimentos celulares o en tejidos distintos. En sorgo, el glicósido cianogénico **durrina** está presente en las vacuolas de las células epidérmicas, mientras que las enzimas hidrolíticas se encuentran en el mesófilo.

En condiciones normales, esta compartimentación evita la descomposición del glicósido. Sin embargo, cuando un herbívoro daña la hoja durante

la ingestión, los contenidos de los diferentes tejidos se mezclan y se forma el HCN. Los glicósidos cianogénicos (GC) están ampliamente distribuidos en el reino vegetal y se encuentran frecuentemente en leguminosas, herbáceas y otras especies de la familia de la rosa.

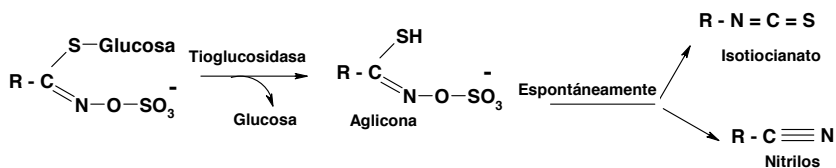
Existen evidencias importantes de que los GC tienen una función protectora en algunas plantas. El HCN es una toxina de acción rápida que inhibe metaloproteínas, como por ejemplo la citocromo oxidasa, enzima clave en la respiración mitocondrial. La presencia de GC evita que determinadas plantas sean el alimento de insectos y otros herbívoros como caracoles y babosas. No obstante, como ocurre con otras clases de MS, algunos herbívoros se han adaptado a alimentarse de plantas cianogénicas y toleran grandes dosis de HCN.

Los tubérculos de mandioca o yuca (*Manihot suculenta*), un alimento rico en hidratos de carbono, esencial en la dieta de muchos países tropicales, contiene altos niveles de GC. Los métodos de procesamiento tradicionales como el rayado, triturado, remojado y secado, eliminan o degradan una gran parte de los GC presentes en los tubérculos. Sin embargo, el envenenamiento crónico que produce una parálisis parcial de los miembros está todavía muy extendido en las regiones donde la mandioca es la principal fuente de alimento debido a que los métodos tradicionales de detoxificación de la mandioca no son completamente efectivos. Además, las poblaciones que consumen mandioca tienen una nutrición pobre, lo que agrava los efectos de los GC. Se están dirigiendo muchos esfuerzos a reducir el contenido de GC en la mandioca en aproximaciones tanto de mejora convencional como de ingeniería genética. Sin embargo, no se busca una completa eliminación de los GC ya que estas sustancias son probablemente las responsables de que la mandioca pueda ser almacenada durante mucho tiempo sin ser atacada por plagas de patógenos.

• Los glucosinolatos liberan toxinas volátiles

Una segunda clase de glicósidos vegetales son los **glucosinolatos** o **glicósidos del aceite de mostaza**, que se degradan para liberar sustancias de defensa volátiles. Se encuentran principalmente en las Brassicaceae y familias vegetales próximas y liberan los compuestos responsables del olor y el gusto de muchos vegetales como el repollo, el brócoli y los rábanos.

La liberación de compuestos volátiles olorosos de los glucosinolatos está catalizada por un enzima hidrolítico llamado **tioglucosidasa** o **mirosinasa**, que libera la glucosa de su unión de la molécula de azufre. La **aglicona** resultante, porción de la molécula que es un azúcar, se transpone, perdiendo un anión sulfato y generando productos de olor fuerte y químicamente reactivos, como son los **isocianatos** y **nitrilos**, dependiendo de las condiciones de hidrólisis.

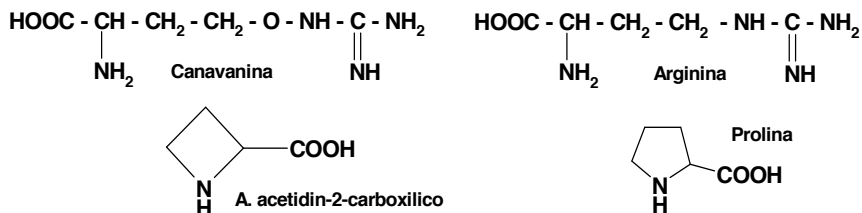


Al igual que con otros MS, algunos animales se han adaptado a alimentarse de plantas que contienen glucosinolatos sin que éstos les produzcan ningún daño. Para estos herbívoros adaptados, como la oruga del repollo, los glucosinolatos actúan como estimulante de la puesta de huevos y los isotiocyanatos producidos después de la hidrólisis de los glucosinolatos actúan como atrayentes volátiles.

La mayor parte de las investigaciones recientes sobre la utilización de glucosinolatos en la defensa natural se ha centrado en la colza (*Brassica napus*), importante productor de aceite de Norte América y Europa. Los investigadores han intentado reducir los niveles de glucosinolatos de las semillas de colza, de manera que el elevado contenido en proteínas comestibles que quedan en la semilla después de la extracción del aceite, pueda ser utilizado como alimento para los animales. Las primeras variedades bajas en glucosinolatos probadas en el campo fueron incapaces de sobrevivir debido a serio problemas de plagas. A pesar de ello, recientemente se han desarrollado variedades con bajo nivel de glucosinolatos en semilla, pero con altos niveles de esta sustancia de defensa en hojas, que son capaces de defenderse del ataque de plagas y no obstante, proporcionan un residuo de semilla rico en proteína para la alimentación de animales.

• Los aminoácidos no proteicos defienden de los herbívoros

Las plantas y los animales incorporan los mismos 20 aminoácidos en sus proteínas. Sin embargo, muchas plantas contienen otros aminoácidos no comunes, llamados **aminoácidos no proteicos**, que no son incorporados a las proteínas, sino que están presentes en su forma libre o actúan como sustancias protectoras. Los aminoácidos no proteicos con frecuencia son similares a los proteicos comunes y así, la **canavanina** es un análogo de la **arginina** y el ácido **azetidin-2-carboxílico** tiene una estructura muy similar a la **prolina**:



Los aminoácidos ejercen su toxicidad de varias formas. Algunos bloquean la síntesis o incorporación de aminoácidos proteicos, mientras que otros como la canavanina, pueden incorporarse por error en las proteínas. Tras la ingestión, la canavanina es reconocida por los enzimas del herbívoro que normalmente unen arginina a su molécula de RNA de transferencia, de forma que es incorporado a las proteínas en lugar de la arginina. El resultado normalmente es una proteína no funcional porque su estructura terciaria o su sitio catalítico están alterados. La canavanina es menos básica que la arginina por lo que quizás pueda alterar la capacidad de la enzima de unir sustratos de catalizar reacciones químicas.

Las plantas que sintetizan aminoácidos no proteicos no son susceptibles a la toxicidad de estos compuestos. La judía sable (*Canavalia ensiformis*), que sintetiza grandes cantidades de canavanina en sus semillas, tiene una maquinaria de síntesis proteica capaz de distinguir entre la canavanina y la arginina, de forma que no incorpora canavanina en sus propias proteínas. Algunos insectos especializados en plantas con aminoácidos no proteicos presentan adaptaciones biológicas similares.

• Ciertas proteínas vegetales inhiben la digestión en los herbívoros

Entre los diversos componentes de los arsenales de defensa de las plantas se encuentran las proteínas de defensa que interfieren la digestión de los herbívoros. Por ejemplo, algunas leguminosas sintetizan inhibidores de α -amilasas que bloquean la acción de la enzima digestiva del almidón. Otras especies vegetales producen **lectinas**, que son proteínas de defensa que se unen a las células epiteliales que cubren el tracto digestivo e interfieren en la absorción de nutrientes.

Las proteínas no digeribles mejor conocidas en plantas son las **inhibidoras de proteinasas**, que se han encontrado en legumbres, tomate y otras plantas. Estas sustancias bloquean la acción proteolítica de las enzimas digestivos de los herbívoros. Una vez en el tracto digestivo de los herbívoros, inhiben la digestión proteica a través de una unión fuerte y específica al sitio activo de las enzimas, tales como la **tripsina** y la **quimotripsina**, que hidrolizan proteínas.

Los insectos que se alimentan de plantas que contienen inhibidores de proteínas tienen tasas de crecimiento reducidas y el desarrollo se puede compensar por la adición de aminoácidos suplementarios en su dieta.

La función defensiva de los inhibidores de proteinasas se ha confirmado en especies con plantas transgénicas de tabaco. Las plantas que habían sido transformadas para acumular niveles elevados de inhibidores de proteinasas sufrieron menos daños por los insectos herbívoros que las plantas control, no transformadas. Sin embargo, varios insectos herbívoros, se han adaptado a las plantas productoras de inhibidores de proteasas a

través de producir proteasas digestivas resistentes a los mecanismos de inhibición.

- **El ataque de los herbívoros inicia una compleja ruta de señalización**

Los inhibidores de proteinasas y otras defensas vegetales no están siempre presentes en las plantas, y sólo se sintetizan después del ataque inicial de un herbívoro o patógeno. En tomates, el ataque de insectos provoca una rápida acumulación de inhibidores de proteinasas en toda la planta, incluso en zonas alejadas del sitio dañado. La producción sistémica de los inhibidores de proteinasas en plantas de tomates jóvenes inicia una complicada secuencia de acontecimientos:

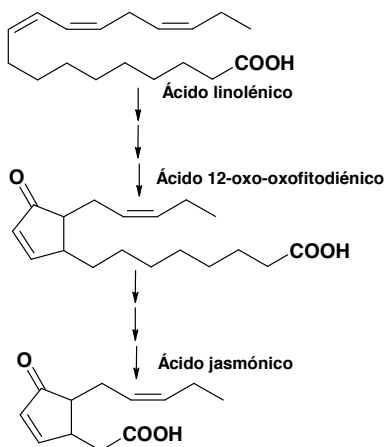
- Las hojas de tomate heridas sintetizan **prosistemina**, un precursor proteico de gran tamaño (200 aminoácidos).
- La **prosistemina** es procesada proteolíticamente para producir un polipéptido llamado **sistemina** (18 aminoácidos), que es el primer (y hasta el momento el único) péptido hormonal descubierto en plantas.
- La **sistemina** es liberada desde las células hasta el apoplasto.
- La **sistemina**, entonces es transportada desde la hoja dañada a través del floema.
- En las células diana, se postula que la **sistemina** se une al receptor en la membrana plasmática para iniciar la síntesis de **ácido jasmónico**, un regulador del crecimiento vegetal que tiene un amplio rango de efectos.
- El **ácido jasmónico** activa la expresión de genes que codifican para inhibidores de proteinasas. Otras señales, como el ABA (ácido abscísico), el ácido salicílico y los fragmentos de pectina de las paredes celulares dañadas, parecen participar en esta cascada de señalización por herida, aunque sus funciones específicas no se han esclarecido todavía.

- **El ácido jasmónico es una hormona vegetal del estrés que activa numerosas respuestas de defensa**

Los niveles de ácido jasmónico aumentan de manera vertiginosa en respuesta al daño causado por diferentes herbívoros e inicia la formación de diferentes clases de defensas vegetales, además de los **inhibidores de proteinasas**, incluyendo terpenos y alcaloides.

La estructura y biosíntesis del ácido jasmónico (AJ) ha intrigado a los biólogos vegetales debido a sus similitudes con la de algunos eicosanoides, que son el centro de las respuestas inflamatorias y otros procesos

fisiológicos en mamíferos. En las plantas, el AJ se sintetiza a partir del ácido linolénico que se libera de las membranas lipídicas y es convertido en AJ a través de una ruta compleja como se esquematiza anteriormente.



Se sabe que el ácido jasmónico induce la transcripción de genes implicados en el metabolismo de defensa de plantas. Los mecanismos para la activación génica se van esclareciendo lentamente. Por ejemplo, en investigaciones recientes en la vincapervinca de Madagascar (*Catharanthus roseus*), que produce algunos alcaloides anticancerígenos muy valiosos, se identificó un factor de transcripción que responde al AJ por activación de la expresión de varios genes que codifican los genes biosintéticos de los alcaloides. Cabe destacar que este factor de transcripción también activa los genes de ciertas rutas metabólicas primarias que proporcionan precursores para la formación de alcaloides, por lo que parece que sea el principal regulador del metabolismo de la vincapervinca de Madagascar.

La demostración directa del papel del AJ en la resistencia a insectos procede de las investigaciones con líneas de mutantes de *Arabidopsis* que producen muy bajos niveles de AJ. Estos mutantes pueden morir fácilmente por plagas que normalmente no dañan a *Arabidopsis*. Sin embargo, la aplicación del AJ exógeno puede reestablecer la resistencia casi a los niveles de la planta silvestre.

Defensa vegetal contra patógenos

Aunque las plantas carecen de sistema inmunitario, muestran una sorprendente resistencia a enfermedades producidas por hongos, bacterias, virus y nemátodos presentes en el ambiente. Examinaremos a continuación diferentes mecanismos desarrollados por las plantas para resistir a la

infección, incluyendo la producción de agentes microbianos y un tipo de muerte celular programada llamada respuesta hipersensible. También discutiremos dos tipos especiales de inmunidad de las plantas conocidos como **resistencia sistémica adquirida** y **resistencia sistémica inducida**.

- **Los patógenos han desarrollado varias estrategias para invadir plantas anfitrionas**

Las plantas han estado y están continuamente expuestas a una gran panoplia de patógenos. Para tener éxito en sus invasiones a las plantas los patógenos han desarrollado varias estrategias, entre las que destacaremos:

- Penetración directa a través de la cutícula y las células por medio de la secreción de enzimas líticas, capaces de digerir estas barreras mecánicas.
- Invasión de las plantas a través de aperturas naturales como estomas y lenticelas.
- Invasión de la planta a través de heridas causadas por los estiletes del insecto, tal como ocurre con algunos herbívoros.
- Varios virus y también algunos tipos de patógenos son transferidos por insectos herbívoros que actúan como vectores e invaden la planta a través del sitio donde come el insecto. Comedores de floema como mariposas blancas y áfidos depositan directamente patógenos en el sistema vascular, para que luego puedan desplegarse a través de toda la planta utilizando este mismo sistema vascular.

Una vez están en el interior de la planta, los patógenos usan una de las tres estrategias que comentaremos a continuación para utilizar la planta anfitrión como un sustrato para su progresión:

- Los **patógenos necrotróficos** atacan a su anfitrión segregando enzimas degradantes de células o toxinas, que eventualmente pueden afectar a las células de la planta, conduciendo a un masivo desgarró (laceración) de los tejidos. Los tejidos muertos son posteriormente colonizados por el patógeno y le sirven como una fuente de alimento.
- Los **patógenos biotróficos** utilizan una estrategia diferente. Después de la infección, los tejidos de la planta permanecen vivos durante un tiempo, y sólo pueden observarse mínimos daños celulares mientras que el patógeno continúa alimentándose de los sustratos que proporciona el anfitrión.
- Los **patógenos hemibiotróficos** tienen un estado inicial tipo biotróficos, en el que las células del anfitrión permanecen vivas, tal como se describe en el apartado anterior. A este estado le sigue una etapa necrotrófica, en la que el patógeno causa un extenso y profundo daño celular.

Aunque estas invasiones y estas estrategias de infección puedan ser exitosas, las enfermedades epidémicas de las plantas son raras en los

ecosistemas naturales, a causa de que las plantas han desarrollado estrategias de defensa muy efectivas frente a una gran variedad de patógenos. Algunas de estas estrategias las discutimos a continuación.

- **Algunos compuestos antimicrobianos se sintetizan antes del ataque por patógenos**

Se han ensayado diversas clases de MS comprobándose que tienen una fuerte actividad antimicrobiana *in vitro*, por lo que se ha propuesto que funcionan como defensas contra patógenos en las plantas intactas. Entre ellos están las **saponinas**, un grupo de triterpenos que se cree que alteran las membranas fúngicas al unirse a **esteroles**.

En experimentos llevados a cabo en el laboratorio de Anne Osbourn en el John Innes Centre (Norwich, Inglaterra), se utilizaron aproximaciones genéticas para demostrar el papel de las saponinas en la defensa contra patógenos de avena. Las líneas de mutantes de avena con niveles reducidos de saponinas, presentaron mucho menos resistencia a los patógenos fúngicos que las avenas de tipo silvestre. Es interesante destacar que una cepa fúngica, que normalmente crece en avena, fue capaz de detoxificar una de las principales saponinas de la planta. Sin embargo, mutantes de esta cepa que no podían detoxificar saponinas fueron capaces de infectar avena, aunque podían crecer satisfactoriamente sobre trigo, que no contiene ninguna saponina.

- **La infección induce defensas antipatógenos adicionales**

Después de haber sido infectadas por patógenos, las plantas despliegan un amplio espectro de defensas frente a los microbios invasores.

Una defensa común es la conocida como **respuesta hipersensitiva**, con la que las células que se hallan rodeando inmediatamente al sitio de la infección mueren rápidamente, estrategia que persigue privar al patógeno de los nutrientes necesario evitando así su expansión. Posteriormente a una respuesta hipersensitiva realizada con éxito, en la zona de la invasión queda situada una pequeña región de tejido muerto, permaneciendo no afectada el resto de la planta.

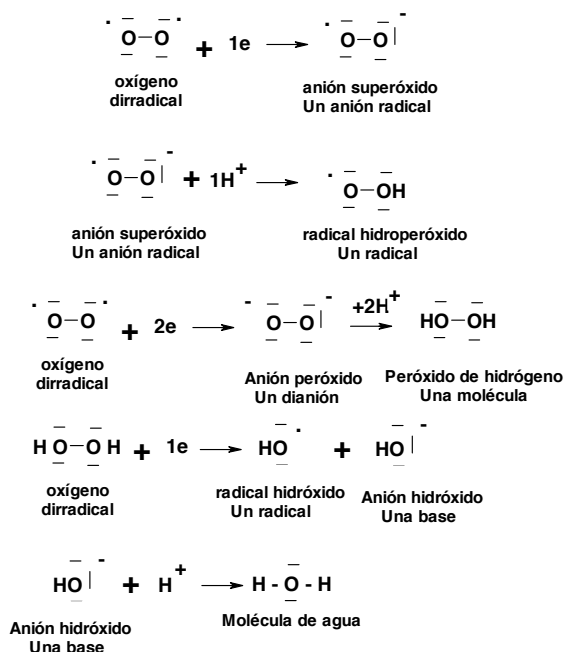
La respuesta hipersensitiva con frecuencia está precedida por la producción y rápida acumulación de especies reactivas de oxígeno y óxido nítrico (NO). Las células próximas a la infección sintetizan una enorme cantidad de compuestos tóxicos formados por la reducción del oxígeno molecular, incluidas el anión superóxido (O_2^-), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el radical hidroxilo (HO^\bullet). Se cree que una oxidasa dependiente de NADPH localizada en la membrana plasmática produce el anión superóxido, que es convertido posteriormente en el radical hidroxilo y en peróxido de hidrógeno.

El anión superóxido es una anión radical (tiene un electrón desapareado sobre un oxígeno y una carga negativa sobre el otro), que se forma por la captación de un electrón por una molécula de oxígeno, que como sabemos en su estado fundamental es un dirradical (tiene dos electrones desapareados con el mismo espín uno sobre cada átomo de oxígeno). La producción del anión superóxido en las plantas se realiza mediante una reacción enzimática que involucra a la enzima NADPH oxidasa localizada en la membrana plasmática de las células. Posteriormente el anión superóxido es convertido en peróxido de hidrógeno y radical hidroxilo.

De las tres especies anteriormente comentadas, la de mayor capacidad oxidante es el radical hidroxilo cuya vida media se estima que no rebasa los microsegundos y debe su extraordinaria reactividad a la presencia de un electrón desapareado, lo que trae consigo que tenga gran afinidad por captar átomos de hidrógenos de moléculas neutras a las que oxida. Se cree que interacciona con los lípidos de la membrana para degenerar los ácidos grasos contenidos en ella, provocando la peroxidación de los lípidos, la inactivación enzimática y la degradación de los ácidos nucleicos.

Estas especies reactivas oxigenadas (ROS), pueden contribuir bien matando a las células del anfitrión situadas en el sitio de infección o actuando a través de matar directamente al patógeno, todo lo cual forma parte de la llamada **respuesta hipersensitiva**.

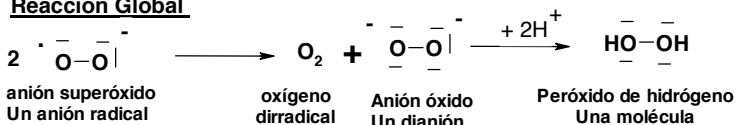
A continuación, comentamos brevemente los aspectos estructurales de las especies químicas que intervienen en la respuesta hipersensitiva.



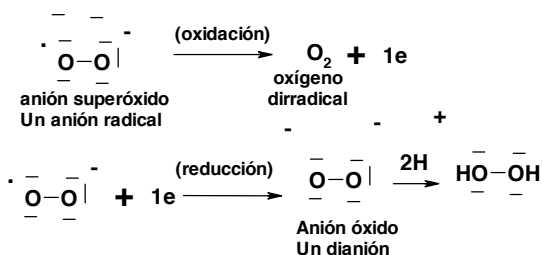
La adición de dos electrones al oxígeno molecular seguida de la captación de dos protones conduciría al peróxido de hidrógeno, una molécula con todos sus electrones apareados. Finalmente, la adición de un nuevo electrón al peróxido de hidrógeno conduciría a la formación del radical hidroxilo y del anión hidróxido que se convierte rápidamente en agua por ganancia de un protón.

Una alternativa a la formación del peróxido de hidrógeno es la dismutación (un proceso de oxidación reducción de la misma especie) del anión superóxido, un proceso que ocurre por la acción de la **enzima superóxido dismutasa** y que se encuentra en el citoplasma, en los cloroplastos y en las mitocondrias de las plantas. En esencia y de manera global, lo que ocurre es que el radical anión superóxido (2 moles) se dismutan (es decir, sufren un proceso redox), convirtiéndose en oxígeno birradical y en el anión óxido, que finalmente gana dos protones generando peróxido de hidrógeno. A continuación, planteamos de manera hipotética lo que debe estar ocurriendo a través de dos semirreacciones, una de oxidación, en la que el anión superóxido se convierte en oxígeno molecular por pérdida de un electrón y otra de reducción, en la que el anión superóxido se convierte en anión óxido por ganancia de un electrón.

Reacción Global

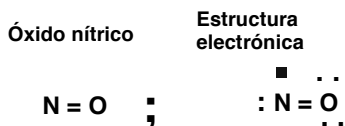


Reacciones Parciales



La producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), se ve acompañada por la producción de óxido nítrico (NO), una molécula que puede actuar como oxidante abstrayendo átomos de hidrógeno, a través de su capacidad para actuar como radical, dado que contiene un electrón desapareado en su última capa. A continuación, mostramos la estructura electrónica del óxido nítrico destacando en mayor tamaño, el electrón impar del átomo de nitrógeno. La presencia de este electrón confiere una gran reactividad al óxido nítrico y su capacidad para actuar como especie

oxidante. La formación del óxido nítrico se efectúa a partir del aminoácido arginina por la acción de la enzima **NO sintetasa**:



El NO actúa como un segundo mensajero señalando caminos biosintéticos y es interesante resaltar que para la efectividad de la respuesta hipersensitiva se requiere un incremento en la concentración de calcio (II) en el citosol. Es necesario la activación conjunta tanto de las especies ROS como del NO, pues si no se efectúa la activación conjunta de estos dos grupos de especies la respuesta hipersensitiva se ve muy disminuida con lo que se pierde efectividad para conseguir la muerte celular de la zona infectada.

Varias especies reaccionan a la invasión por hongos o bacterias sintetizando **lignina** o **callosa**, dos polímeros que actúan como barreras, aislando al patógeno del resto de la planta y bloqueando físicamente su expansión. Otra respuesta relacionada con la anterior es la modificación de las paredes celulares de proteínas.

3. Un paseo por los Parques Nacionales del mundo

Marcos Báez

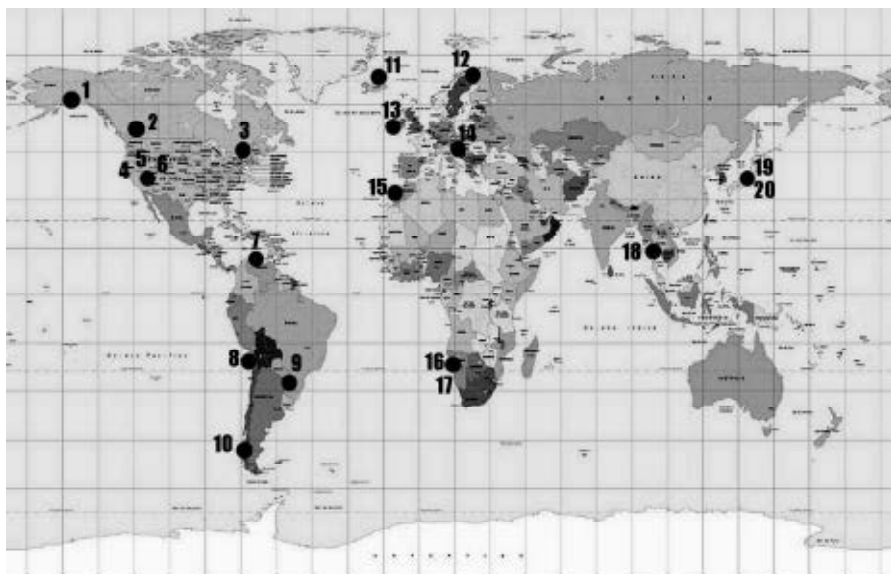
*Departamento de Biología Animal,
Universidad de La Laguna
marbaez@ull.es*

Este artículo tuvo su origen en la invitación que se me cursó para participar en el homenaje con motivo del centenario del nacimiento del insigne científico canario Dr. Telesforo Bravo. Don Tele, como le llamaba todo el mundo, fue maestro de muchos profesionales actuales de la biología en Canarias a quienes impartió sus amplios conocimientos del medio natural en la asignatura de Geología, en aquel primer curso de la antigua Facultad de Ciencias. Como alumno suyo primero y posteriormente como colaborador-becario del Museo de Ciencias Naturales de Tenerife, del cual él era Director en aquellos tiempos, tuve el privilegio de formar parte de una inolvidable expedición a las cercanas Islas Salvajes organizada por dicho Museo y liderada por él. Así que mi relación con D. Tele data ya de mis primeros años en la universidad, si bien con posterioridad el contacto se mantuvo de forma intermitente durante mis visitas al Departamento de Geología. Allí siempre estaba dispuesto a explicar y resolver dudas sobre los más diversos temas que se le plantearan, en especial aquellos ligados al medio natural de las islas.

Por todo ello, cuando se me invitó a participar en una serie de charlas en el Instituto de Estudios Hispánicos del Puerto de la Cruz dentro de un ciclo denominado “IX Semana Científica Telesforo Bravo” no tuve la menor vacilación en tomar parte de dicho homenaje, aunque con

posterioridad a dicha decisión confieso que tuve mis dudas sobre la elección del tema. Finalmente, creí oportuno dedicar mi intervención a comentar algunos de los Parques Nacionales del mundo que precisamente ostentan esta distinción por sus valores geológicos, paisajísticos y biológicos. Nada mejor como homenaje al insigne naturalista que fue D. Tele.

He trazado una línea imaginaria haciendo un recorrido por cuatro continentes (Oceanía todavía permanece ignota para mí), desde Alaska en Norteamérica a Japón en Asia, señalando algunas de las características más notables de cada uno de ellos y siguiendo el orden indicado en el mapa general en el que aparecen con numeración correlativa.



Mapa general de los parques reseñados en el texto.

1.- Parque Nacional Denali (Alaska, EEUU)

Creado en 1917, este Parque tiene una superficie de 24.585 km² e incluye la montaña más alta de Norteamérica: el Monte McKinley (Denali en lengua atabascana) que supera los 6.100 metros. La vegetación de la mayor parte del Parque está formada por musgos y líquenes en suelos pantanosos, lo que es conocido como tundra, si bien en ciertas zonas a menor latitud dentro del Parque están presentes extensos bosque de coníferas que constituyen la conocida taiga. En este escenario destaca la

fauna de grandes mamíferos como los osos (el oso pardo y el oso negro), los alces, los muflones de Dahl de un blanco níveo, los caribúes (renos), así como lobos grises, marmotas y otros.

Como dato anecdótico señalaré que en el año 2012 tuvo lugar un fatal encuentro entre un fotógrafo y un oso pardo. Aquél no siguió las indicaciones y regulaciones del Parque con respecto a la fauna salvaje y el resultado fue su muerte a manos del oso. En cualquier caso, éste es un hecho completamente inusual y ha sido el primer accidente de esta naturaleza en la historia de este Parque.



Fig. 1. Muflones de Dahl en el P.N. Denali.

2.- Parque Nacional Banff (Montañas Rocosas, British Columbia, Canadá)

Si bien las Montañas Rocosas son un sistema de cordilleras que recorren la costa oeste de Norteamérica, quizás su tramo más espectacular pertenezca a la zona que atraviesa Canadá. Se han designado allí cuatro Parques Nacionales: Banff, Jasper, Yoho y Kootnay, y haremos aquí mención solamente al primero de ellos.

Creado en el año 1885 el Parque Nacional Banff ocupa un área de unos 6.600 km² en el que se integran glaciares, bosques de coníferas, lagos y una

sorprendente y abundante fauna de mamíferos. La parte de mayor desarrollo turístico es el valle del río Bow (Fig. 2) en donde se asienta la pequeña y encantadora ciudad de Banff, verdadero centro comercial y cultural del Parque.

A unos 54 km al NW de la ciudad de Banff se encuentra el majestuoso Lago Louise, en el que se emplaza el “Chateau Lake Louise” hotel de lujo que empezó a construirse a finales del siglo XIX y que se sitúa justo al borde del lago que le da nombre y frente al impresionante glaciar Victoria. De sus proximidades parten varios senderos que recorren los bosques que rodean al lago y que permiten disfrutar de un incomparable paraje natural.



Fig. 2. Meandro del río Bow en el valle del mismo nombre.

Entre los muchos lagos del Parque no pueden dejar de citarse dos de ellos: el lago Moraine, rodeado por el “valle de los Diez Picos” y el lago Peyto, cuyas aguas turquesas y peculiar morfología hacen de él una imagen inolvidable.

La vegetación del Parque está dominada por los bosques de coníferas, y entre los componentes de la fauna destacan más de 50 especies de mamíferos (osos, pumas, lince, lobos, ciervos, alces, muflones, etc.) y más de 250 especies de aves (águila calva, águila pescadora, pájaros carpinteros, perdices nivales, etc.).

3.- Parque Nacional de la Península Bruce (Lago Hurón, Ontario, Canadá)

Este Parque, una de las mayores áreas protegidas del sur de Ontario, se encuentra situado en la Península Bruce y comprende unos 156 km². Está surcado por numerosas senderos que hacen las delicias de los amantes de la naturaleza, ofreciendo además varias áreas de acampada y numerosos puntos de observación de aves. El Parque forma parte también del famoso “Bruce Trail”, camino que con un recorrido de unos 900 km no sólo atraviesa al Parque sino que recorre gran parte del Condado de Bruce.

En las costas de este Parque Nacional existen numerosas calas que ofrecen la oportunidad de tomar un baño a los visitantes, si bien al formar parte del conocido como “Escarpe del Niágara” apenas existe plataforma costera y el desnivel es muy acusado, siendo también muy frecuente la presencia de acantilados.



Fig. 3. Ensenada Little Dunks Bay en el Parque Nacional Bruce.

Aunque el interés del Parque es fundamentalmente geológico, los bosques de coníferas ocupan la mayor parte de su extensión y, en cuanto a la fauna, se observan con relativa facilidad ardillas, conejos, puercoespines, ciervos, aves rapaces, serpientes, así como ranas y salamandras. Los osos negros, presentes en el Parque, son sin embargo poco frecuentes y raramente observados. Mención aparte merecen las numerosas especies de

peces que pueblan las aguas de la Bahía (Georgian Bay) que baña sus costas.

4.- Parque Nacional Yosemite (California, EEUU)

A algo más de 300 km al oeste de la ciudad de San Francisco se encuentra el impresionante Parque Nacional Yosemite con una superficie de algo más de 300 km². Entre las muchas zonas dignas de visita destaca el “valle Yosemite”, valle formado por la erosión glaciaria y flanqueado por masas impresionantes de granito como los famosos “El Capitán” o el “Half Dome”. La vista del valle desde el mirador situado a la salida del túnel que permite el acceso al Parque es espectacular, destacando la impresionante vista de las fortalezas graníticas mencionadas, así como de la cascada de velo de novia (Bridalveil Fall) (Fig. 4).

La especie arbórea más abundante en el Parque es el “pino ponderosa” (*Pinus ponderosa*) aunque coexiste con otras especies de coníferas y con algunos viejos ejemplares de secuoyas gigantes. Entre la fauna destaca la presencia de osos negros, pumas, zorros, ardillas, marmotas, aves diversas (pájaros carpinteros, búhos, entre otros), serpientes, lagartos, etc.



Fig. 4. Vista del valle Yosemite desde el mirador del túnel.

5.- Parque Nacional del Gran Cañón (Arizona, EEUU)

Se trata de uno de los Parques Nacionales más antiguos de EEUU, formado por la enorme garganta excavada por el río Colorado y que comprende una extensión aproximada de 5.000 km², con una longitud de unos 450 km y una profundidad media de 1.300 metros, si bien llega a alcanzar un máximo de 2.000 m. La anchura de la garganta varía desde los 5,5 km a los 30 km.

No sólo la visión del cañón constituye un paisaje impresionante sino que la sucesión de los estratos que lo conforman nos retrata una gran parte de la historia del continente americano: algunas de las rocas del fondo de la garganta tienen una antigüedad de 1.700 millones de años.



Fig. 5. Vista del Gran Cañón.

La región es rica en fósiles, remontándose los más antiguos al periodo Precámbrico (más de 550 millones de años), albergando asimismo abundantes muestras fósiles de la megafauna desaparecida a finales del Pleistoceno (en los últimos 30.000 años). La fauna actual del Parque incluye más de 300 especies de aves, incluyendo entre ellas el cóndor de California, reintroducido después de haber desaparecido del Parque. Destacan también más de 70 especies de mamíferos, entre los que se

pueden citar venados, muflones, linces, coyotes e incluso pumas, aunque estos últimos son muy escasos, siendo los más frecuentes las ardillas y los conejos. Entre los reptiles y anfibios abundan en el Parque las serpientes de cascabel, tortugas, ranas, sapos y salamandras.

6.- Parque Nacional Yellowstone (Wyoming, EEUU)

Considerado uno de los Parques Nacionales más antiguos del mundo, fue creado en 1872 y su extensión alcanza casi los 9.000 km², incluyendo lagos, cañones, ríos y numerosas formaciones y fenómenos geotérmicos.

La superficie del Parque constituye una meseta situada a 2.400 metros de altitud, aunque su mayor cota la alcanza en el pico Eagle (3.462 m). Alberga el mayor lago de montaña de Norteamérica (354 km²) y todo el conjunto del Parque constituye una verdadera exhibición de actividad volcánica: la erupción más violenta tuvo lugar hace unos 2 millones de años y expulsó 2.450 km² de material volcánico; la segunda en importancia tuvo lugar hace unos 1,2 millones de años y expulsó unos 280 km² de material, y hace unos 640 mil años aconteció la tercera gran erupción volcánica que expulsó alrededor de 1.000 km² de material. Otras erupciones menores tuvieron lugar entre los 630 y 70 mil años, siendo la última erupción hidrotérmica la que produjo un cráter de 5 km de diámetro hace unos 13 mil años.

La gran atracción turística del Parque la constituye sin duda su actividad geotérmica, contabilizándose más de 200 géiseres y unas 10.000 fuentes hidrotermales. El géiser más famoso es el conocido como “Old Faithful” (“Viejo Fiel”) que entra en actividad a intervalos casi regulares de unos 60 minutos.

Las fuentes termales permanentes dan lugar a otros de los fenómenos más notables. El agua caliente viene cargada de calizas y éstas se depositan al enfriarse el agua en el exterior, de tal manera que dan lugar a una serie de esculturas naturales en cascadas muy llamativas.

La flora comprende más de 1.700 especies de plantas incluyendo varias especies de coníferas entre las que destaca por su abundancia el “pino contorta” (*Pinus contorta*). En la fauna destacan un buen número de mamíferos como el lobo gris, el lince o los osos (grizzli y negro), siendo especialmente llamativa la abundancia de bisontes (su población en el Parque supera los 4.000 individuos). También abundan los peces en sus lagos y destaca asimismo la presencia de muchos anfibios, reptiles (como la serpiente de cascabel) y aves, entre las que se cuenta el águila calva.



Fig. 6. Cascada del río Yellowstone vista desde “Artist Point”.

7.- Parque Nacional Henri Pittier (Aragua, Venezuela)

Es el Parque Nacional más antiguo de Venezuela, creado en 1937 con el nombre de “Rancho Grande” y dedicado posteriormente al naturalista sueco Henri Pittier. Enclavado en la cordillera de la costa tiene una superficie de 107.000 hectáreas comprendiendo dos sistemas geográficos: el montañoso y el costero, dando como resultado un relieve abrupto de fuertes pendientes que comienza a nivel del mar y llega hasta los 2.346 metros en el Pico Cenizo.

El bosque nublado que puebla la mayor parte del Parque es extremadamente rico en especies vegetales y animales. Su gran diversidad queda de manifiesto en el hecho de que se ha llegado a identificar más de 150 especies diferentes de árboles en una superficie menor a una hectárea. En cuanto a su diversidad faunística se han contabilizado más de 140 especies de mamíferos, más de 500 especies de aves, más de 100 especies de reptiles y unas 40 de anfibios. En cuanto a grupos de invertebrados, la diversidad de insectos es tan grande que nunca se ha llegado a tener un inventario ni siquiera aproximado, siendo posible que existan muchas decenas de miles de especies distintas.

Una de las características geográficas y biológicas más importantes del Parque es la presencia del abra de la cadena montañosa situada a 1.136 m y conocida como “Paso del Portachuelo”. Este paso permite el flujo continuo de numerosas especies de aves, murciélagos e insectos. Precisamente uno de los recuerdos más imborrables de mi estancia en este Parque fue la excursión de colecta entomológica realizada con los colegas de la Facultad de Agronomía de Maracay y mi asombro ante el paso continuo de incontables especies de insectos en dicho enclave. Un espectáculo único.

Dentro del Parque se encuentra la Estación Biológica Dr. Francisco Fernández Yépez en la que pasé unos días inolvidables especialmente en las incursiones nocturnas en donde observé por primera y única vez un ejemplar vivo de Onicóforo, ejemplar que pude conservar y que figura hoy como el único existente en la colección zoológica de la Facultad de Biología de la ULL, permitiendo que los estudiantes de Biología puedan observar tan peculiar y desconocido grupo animal.



Fig. 7. Bosque nublado en el Parque Nacional Henri Pittier.

8.- Parque Nacional Lauca (Arica, Chile)

Su nombre procede del término aimara “lawqa” (“pasto acuático”) dada la notable presencia de este tipo de hábitat en la zona. El Parque fue

creado en 1970 y comprende una superficie de unas 137.000 hectáreas. Es un buen representante del altiplano andino y su altitud va desde los 3.200 m a los 6.342 m en la cima del volcán Parinacota. En 1981 el Parque pasó a formar parte de las reservas de la biosfera de la Unesco.

Entre los muchos valores naturales que alberga destaca el “bofedal de Parinacota” una pradera nativa con permanente humedad tapizada de plantas hidrófilas que son el principal sustento de las especies nativas de camélidos (llamas, alpacas, guanacos y vicuñas), todos ellas fácilmente observables en el Parque.

A unos 4.500 m de altura, en las proximidades del volcán Parinacota, se sitúa el impresionante lago Chungará, en cuyas aguas abundan los patos y los flamencos. En el Parque nace también el río Lauca que cruza los Andes y desemboca en el lago Coipasa, en Bolivia.

La flora del Parque se encuadra dentro de la flora típica de la puna andina y, además de los característicos bofedales citados, puede destacarse la planta conocida como “llareta” (*Azorella compacta*), una Apiacea siempre verde, de aspecto pétreo y con un crecimiento muy lento, de apenas un centímetro por año. Algunas de ellas se calcula que pueden alcanzar los 3.000 años de edad.



Fig. 8. Lago Chungará y volcán Parinacota.

Entre las aves se cuentan más de 140 especies, pudiéndose citar íbises, tinamúes, patos, cóndores y, sobre todo, el omnipresente flamenco chileno (*Phoenicopterus chilensis*). Entre los mamíferos destacan entre otros las cuatro especies de camélidos citadas, así como la presencia común de las vizcachas, roedores similares a conejos tanto en aspecto como en tamaño.

9.- Parque Nacional Iguazú (Misiones, Argentina)

Este Parque, que cuenta con una superficie aproximada de 67.000 ha, se creó fundamentalmente para conservar el entorno natural de las conocidas “cataratas del río Iguazú”. Estas cataratas están formadas por unos 275 saltos de hasta 80 m de altura, la mayoría de las cuales se sitúan en el lado argentino del Parque, dado que éste es contiguo al Parque brasileño del mismo nombre.



Fig. 9. Aspecto de las cascadas del río Iguazú.

Entre los muchos saltos de agua destaca el conocido como “Garganta del Diablo” que se sitúa justo en la línea fronteriza entre Brasil y Argentina. Su enorme caudal, así como su altura, hace que su cercana visión desde un adecuado mirador sea realmente espectacular. La niebla producida por esta

enorme caída de agua origina una nube que puede observarse desde varios kilómetros de distancia.

La flora del Parque forma parte de los bosques húmedos amazónicos conocidos como “selvas misioneras” e incluye más de 90 especies arbóreas distintas, y un sinnúmero de otras plantas vasculares de pequeño porte, epífitas, trepadoras, etc.

Entre los mamíferos del Parque destacan los numerosos y comunes coatis, el jaguar, los osos hormigueros y meleros, etc. Entre las aves son muy frecuentes y visibles los tucanes, y entre los reptiles destaca el caimán de hocico ancho conocido como “yacaré overo”.

10.- Parque Nacional Los Glaciares (Santa Cruz, Argentina)

Ocupando un área superior a los 7000 km², este Parque se creó en el año 1937 con objeto de proteger una extensa área de hielos continentales que ocupan una superficie de unos 2.600 km² y que da origen a una serie de 47 glaciares mayores, el más conocido de los cuales es el “Perito Moreno”. Este glaciar, que se extiende por el lado sur del lago Argentino, posee un frente aproximado de unos 5 km, frente que es -no obstante- superado por el del vecino glaciar Uppala que alcanza los 10 km.



Fig. 10. Visión del frente del glaciar Perito Moreno.

En el sector norte del Parque se sitúa el impresionante macizo Fitz Roy bautizado en honor al capitán del famoso navío HMS Beagle (Robert Fitz-Roy) si bien el nombre nativo es el de Chaltén (“montaña humeante”) que hace referencia a la presencia permanente de nubes en su cumbre (3.405 m).

Además de por sus glaciares y montañas el Parque es también notable por albergar bosques subantárticos que incluye a especies comunes como la lenga, el guindo, el notro o el calafate, así como por su fauna entre la que se cuenta el “huemul” o ciervo andino, la especie de ciervo más austral del mundo, así como guanacos y pumas. Entre las aves son frecuentes los cisnes y patos y algo menos comunes los cóndores.

11.- Parque Nacional Skaftafell (Islandia)

Creado en 1907 con una superficie de unos 4.800 km², fue posteriormente (año 2008) fusionado con el Parque Nacional Vatnajökull formando ahora el Parque Nacional Skaftafell-Vatnajökull que supera los 14.000 km² de superficie, siendo, por lo tanto, uno de los parques más grandes de Europa. Skaftafell incluye un gran valle (Morsárdalur), la montaña Kristinartindar y el glaciar Skaftafelljökul.



Fig. 11. Cascada Svartifoss.

El Parque es notorio en la isla porque en los meses de verano tiene un clima muy agradable en el que abundan los días soleados, siendo por ello una zona muy visitada en esa estación del año.

Quizás el rincón más visitado del Parque sea la cascada Svartifoss (que significa “cascada negra”) y aunque su caída apenas llega a los 20 m, el entorno es muy llamativo al despeñarse el agua entre una serie de columnas basálticas de color oscuro (Fig. 11).

En la zona abundan los abedules así como otras muchas plantas herbáceas que en primavera llenan el paisaje de flores. En cualquier caso la vegetación del Parque se ha visto muy alterada por el pastoreo -en un pasado reciente- de abundantes rebaños de ovejas.

En lo que respecta a su fauna, el Parque es rico en aves, en especial de pájaros, entre los que llama la atención la presencia frecuente de cuervos. En lo que respecta a los mamíferos pueden observarse en el territorio el zorro ártico, comadreja y con mucha frecuencia ratones de campo (género *Apodemus*).

12.- Parque Nacional Abisko (Norrbotten, Suecia)

Se encuentra ubicado en el norte del país, dentro de la provincia de Laponia y muy cerca de la frontera con Noruega. Situado en las orillas del lago Torneträsk, constituye uno de los mayores Parques del país con un área de unos 77 km².



Fig. 12. Paisaje en el Parque Nacional Abisko.

Fundado en 1990 incluye el famoso sendero Kungsleden que comienza en la aldea de Abisko y que, a lo largo de 425 km, atraviesa el Parque de un lado a otro, siendo un importante referente para senderistas de todo el mundo. El Parque está considerado como uno de los últimos grandes parajes vírgenes de Europa.

La vegetación es de tipo tundra, si bien en muchas zonas hay bosquetes de arbustos diversos, principalmente en aquellas zonas con riachuelos. En su fauna destaca la presencia común de alces y renos, pudiéndose observar también otros mamíferos como los glotones (mustélidos), zorros árticos, linces europeos, así como osos pardos. Entre las numerosas aves destacan las águilas, los búhos nivales, diversas especies de patos, etc.

13.- Parque Nacional El Burren (The Burren; Clare, Irlanda)

A pesar de que reducido tamaño (15 km²) este Parque representa uno de los mejores ejemplos de paisaje kárstico del mundo. Su nombre, que significa literalmente “lugar pedregoso” hace honor a la realidad: se trata de un paisaje muy peculiar de rocas lisas y pulidas, atravesadas por grietas conocidas como “grikes” en las que prospera una peculiar vegetación típicamente ártica, aunque también están presentes algunas especies mediterráneas y alpinas debido precisamente a las peculiares características microclimáticas de dichas grietas. Precisamente es una especie alpina,



Fig. 13. Dolmen de Poul nabrone.

Gentiana verna, la que ha sido designada como símbolo del Parque. Entre la fauna destaca la presencia de martas europeas (*Martes martes*).

La zona es también rica en yacimientos arqueológicos del Neolítico, abundando las tumbas megalíticas y los dólmenes, siendo muy conocido y visitado el denominado “dolmen de Poul nabrone” (Fig. 13).

Dentro de la región conocida como “The Burren”, pero fuera ya de los límites del Parque Nacional, se encuentra uno de los mayores atractivos turísticos de Irlanda: los acantilados de Moher, de una altura que oscila entre los 120 y los 214 metros, y que se extienden a lo largo de varios kilómetros por la costa de esta zona de Irlanda.

14.- Parque Nacional de los Lagos de Plitvice (Lika, Croacia)

Creado en 1949 este Parque alberga una sucesión de lagos y cascadas de aguas turquesas que le confieren una belleza espectacular. Ocupando un área aproximada de unas 30.000 hectáreas comprende 16 lagos escalonados a diferentes altitudes (entre los 636 y 503 m) comunicados entre sí por casi un centenar de cascadas, unas pequeñas y otras de mayor altura y espectacularidad. Estas cascadas están formadas por travertino (roca caliza) que va siendo depositado por la acción de musgos, algas y bacterias, a una tasa aproximada de 1 cm por año.



Fig. 14. Aspecto de una pequeña cascada entre lagos en el P.N. Plitvice.

La flora del Parque está constituida por un bosque fundamentalmente de hayas aunque también están presentes abetos y pinos, habiéndose citado además más de 50 especies de orquídeas. El Parque es refugio asimismo de especies animales emblemáticas como el oso pardo, el lobo, el linco, el urogallo y otros; de hecho, es uno de las pocas áreas de Europa en las que los osos y los lobos pueden ser fácilmente observados. Entre los reptiles destaca la presencia del galápago europeo y de la salamandra alpina.

15.-Parque Nacional Souss-Massa (Marruecos)

Creado en 1991 ocupa la franja costera de la costa atlántica de Marruecos que va desde Agadir en el norte a Aglou en el sur, comprendiendo un área de más de 33.000 hectáreas, formada por la zona más baja de la gran cuenca que forma el valle del Souss. Por el interior del Parque discurren los ríos Souss y Massa que le dan nombre al mismo. El clima es seco, siendo la precipitación media en Agadir de unos 250 mm / año.



Fig. 15. Bandada de ibis eremita en vuelo.

La flora y fauna del parque tiene un gran interés al incluir especies paleárticas y afrotropicales. Muchas de las especies vegetales son comunes con Canarias y la zona es considerada como un “enclave macaronésico” en el continente africano. El árbol más común es el argán (*Argania spinosa*) si

bien son comunes las tabaibas tanto arborescentes (*Euhorbia regisjubae*, como en Canarias) como cactiformes (*Euphorbia echinus*, de aspecto muy similar al cardón canario).

Entre los reptiles pueden citarse la tortuga mora y eslizones y perinquenes del mismo género que en Canarias (*Chalcides* y *Tarentola*, respectivamente), si bien algunas especies son más espectaculares como el lagarto de cola espinosa (*Uromastix*). También son frecuentes las culebras.

Entre las numerosas especies de aves hay que destacar una verdadera joya, el ibis eremita (*Geronticus eremita*), cuya población en el Parque constituye la más importante de las que se conocen de esta especie en peligro de extinción (Fig. 15). Precisamente por representar uno de los grandes valores del Parque se ha elegido como emblema del mismo.

Entre los mamíferos pueden contarse muchas especies, pero sólo destacamos la ardilla moruna (*Atlantoxerus getulus*), roedor introducido en la isla de Fuerteventura en la que se ha convertido en una especie invasora imparable y extremadamente abundante.

16.- Parque Nacional Etosha (Namibia)

Creado en 1907 como Reserva y elevado a categoría de Parque Nacional en 1967, comprende un área de 22.000 km² y debe su nombre a la extensa planicie de Etosha que alberga en su interior. Esta planicie comprende unos 4.700 km² (23% del Parque) y su nombre, Etosha, significa “el gran lugar blanco” por el aspecto de la misma debido a los carbonatos depositados en su superficie.

El Parque contiene dos ecosistemas principales, el bosque de matorral y sabanas y las depresiones o lagunas saladas secas de las cuales la mencionada de Etosha es la más extensa. El árbol dominante es el mopane (*Colophospermum mopane*) que puede superar los 7 m y que constituye aproximadamente el 80 % de las especies arbóreas del Parque, seguido por las acacias.

El Parque es muy rico en fauna salvaje, habiéndose contabilizado más de 114 especies de vertebrados, destacando entre ellos el grupo de los mamíferos que incluye predadores como los leones, los guepardos, las hienas, las mangostas, los suricatas, y otros; herbívoros como el elefante, los rinocerontes, las cebras, las jirafas, los antílopes, las gacelas, las ardillas, etc. En el grupo de las aves destaca la presencia de avestruces, buitres, águilas, cigüeñas, garzas y otras, mientras que se conocen más de 100 especies de reptiles.

Uno de los atractivos del Parque es la presencia en la estación seca de una serie de charcas en las que se concentran los animales para beber, de las

que destacan tres por su tamaño y porque constituyen escenarios ideales provistos de miradores desde los que se puede observar la fauna: Okakuejo, Halali y Namutoni.



Fig. 16. Escenario desde el mirador de Halali.

17.- Parque Nacional Namib-Naukluft (Namibia)

Este Parque, creado en 1907, ocupa un área de 49.768 km² y forma parte del conocido desierto de Namibia, considerado el desierto más antiguo del mundo. La parte más popular del Parque es el área de Sossuvlei, en la que sitúa la famosa Duna 45.

Las dunas del Parque se cuentan entre las más altas del mundo, llegando algunas de ellas a alcanzar los 300 metros. Entre dichas dunas destaca la mencionada Duna 45, llamada así porque se encuentra a 45 km de distancia de la localidad de Sesriem, siendo probablemente la duna más fotografiada del mundo por su forma y diseño (Fig. 17). Con una altura de unos 80 metros puede ser fácilmente escalada por su cresta dada la escasa pendiente de la misma.

La vegetación del Parque es clasificada como sabana semidesértica y entre las especies arbóreas destacan las acacias, si bien son también abundantes las plantas de aloe.

La fauna más impresionante y llamativa es, sin duda, la de mamíferos, pudiéndose observar fácilmente gacelas, órices, kudus, cebras, chacales, etc. También son comunes en el Parque las serpientes o los lagartos de las dunas. Entre los artrópodos destaca por su abundancia los solífugos (arácnidos de unos 3-4 cm, nocturnos, que carecen de veneno y que pueden desplazarse a gran velocidad por la arena). Estos curiosos arácnidos son conocidos en Sudáfrica con el nombre de “cortadores de pelos” (haarkeeders) o “cortadores de barbas” (baardskeeders) por la creencia popular (falsa, obviamente) de que utilizan sus formidables quelíceros para cortar los pelos de las personas o de los animales con la finalidad de recubrir con ellos sus nidos subterráneos.



Fig. 17. Duna 45 en Sossuvlei.

18.- Parque Nacional Ao Phang-Nga (Tailandia)

Creado en 1981, este Parque forma parte de la Bahía de Phang-Nga situada en el estrecho de Malacca. El área presenta numerosas islas de acantilados calizos horadados por multitud de cuevas con numerosos yacimientos arqueológicos dado que, hace unos 10.000 años, cuando el nivel del mar era inferior al actual, la zona fue habitada al poderse cubrir a pie.

El Parque incluye unas 42 islas separadas entre sí por aguas someras y cubiertas de bosques húmedos así como de manglares en sus costas. Entre las especies más señeras de la zona cabe destacar la presencia del Dugong (Sirénido que junto con los manatíes son conocidos como “vacas marinas”). Destaca también la presencia abundante de macacos y, entre las aves, es frecuente observar el chorlitejo malayo y la agujeta asiática, así como varias especies de garzas. En sus costas se conocen muchas especies de peces, siendo especialmente frecuentes las rayas y las mantas. Mención aparte merece la multitud de cangrejos que pululan entre los manglares.

Entre las distintas islas destaca por su forma delicada la isla de Ko Tapu más conocida como la “isla de James Bond” dado que aparece en una de las películas de la famosa serie. Tiene unos 20 metros de altura, pero mientras su base apenas mide 4 m de diámetro, su ápice mide el doble, dándole un aspecto de estructura al borde del colapso que es lo que la hace especialmente llamativa (Fig. 18).



Fig. 18. Isla de Ko Tapu (“isla de James Bond”).

19.- Parque Nacional Towada-Hachimantai (Honshu, Japón)

Este Parque comprende dos áreas separadas entre sí unos 50 km y situadas en el norte de la isla de Honshu, la mayor del archipiélago japonés. El área de Towada incluye el lago Towada y el valle del río Oirase. El área

de Hachimantai incluye varias montañas entre ellas el Monte Hachimantai que le da nombre a esta zona del Parque.

El río Oirase transcurre entre densos bosques con una gran variedad de árboles y una elevada humedad, bosque que es surcado por una serie de senderos que convierten la visita al mismo en un auténtico placer, estando el camino rodeado de rápidos y cascadas que se alternan a lo largo de toda la ruta (Fig. 19).

Dentro del Parque destaca la presencia del lago Towada, formado en el cráter de un volcán extinto y con un área de 60 km² y una profundidad de más de 300 metros, constituyendo uno de los más profundos del país.



Fig. 19. Cascada del río Oirase (zona de Towada).

20.- Parque Nacional Monte Fuji (Honshu, Japón)

De nombre completo Fuji-Hakone-Izu este Parque Nacional comprende el Monte Fuji, los Cinco Lagos de Fuji, la ciudad de Hakone, la Península Izu y las islas Izu. El área del Parque abarca unos 1.200 km² y fue establecido en el año 1936.

El Monte Fuji es el punto más elevado de Japón con 3.776 metros, un estrato-volcán de aspecto y altitud muy similar a la del Teide. En realidad, el Monte Fuji, con su cono casi prácticamente cubierto de nieve perpetua es

el símbolo por antonomasia de Japón. En junio de 2013 fue declarado por la UNESCO Patrimonio Cultural de la Humanidad dado que constituye un “lugar sagrado y recurso de inspiración artística”.

El área de densos bosques que pueblan la base noroeste del Fuji es denominada Aokigahara. La leyenda asegura que demonios, fantasmas y duendes vagan por los mismos, y en el siglo XIX estos bosques fueron el lugar en el que las familias pobres abandonaban a recién nacidos y a ancianos, siendo además uno de los lugares en los que más suicidios se producen en el país (54 en 2010).

También en la base de la cara norte de la mítica montaña se encuentran cinco lagos dispuestos en arco y formados por la existencia de una serie de barreras de lava que funcionan como diques contenedores de las aguas de la zona. Constituyen unos parajes especialmente favorables para la pesca y sus amaneceres nublados son unos de los momentos más bellos vividos en mi viaje por Japón.



Fig. 20. Visión del Monte Fuji.

A modo de conclusión

La visita a esta serie de Parques Nacionales, verdaderos lugares privilegiados repartidos por cuatro continentes, constituye una de las vivencias y placeres que en parte son producto de la influencia y

enseñanzas que D. Tele nos inculcó a los que fuimos, primero sus alumnos, y posteriormente, sus colegas naturalistas. A manera de homenaje particular en la Fig. 21 queda reflejada una vez más su imagen de naturalista de campo durante la expedición a las Islas Salvajes.



Fig. 21. Telesforo Bravo y Francisco García-Talavera en el desembarcadero de la isla Pitón Grande (Islas Salvajes) en la expedición "Agamenón 76", llevada a cabo entre el 23 de febrero y el 3 de marzo de 1976 y organizada por el Museo Insular de Ciencias Naturales.

Por último, espero que la lectura de este artículo despierte en aquellos lectores más jóvenes el ansia de conocer no solo otros parajes y otras culturas, sino aumentar también sus conocimientos sobre la biodiversidad de este único planeta que habitamos.

4. Telesforo Bravo, maestro de la convivencia

Isidoro Sánchez García

*Ingeniero de Montes,
Ex-Director de los Parques Nacionales
de El Teide y Garajonay*

Hablar del geólogo y naturalista don Telesforo Bravo Expósito es hablar de uno de los vértices del espectacular triángulo de personajes que ha dado el valle de La Orotava en materia de ciencia, razón y fe, en los últimos siglos. Incluyendo obviamente a don Agustín de Betancourt y Molina, ingeniero, y a don José Viera y Clavijo, historiador y naturalista.

He de reconocer que he sido un alumno privilegiado por cuanto tuve durante cuarenta años, al profesor portuense Telesforo Bravo como Maestro de la Convivencia. Siempre nos enseñó que es algo más que la simple coexistencia, de ir cada uno por su lado sin molestar. Es simbiosis, donde reina el respeto mutuo, la aceptación de las reglas de juego y la condición de relacionarse con los demás a través de una comunicación permanente, fundamentada en el afecto y la tolerancia que permita compartir en armonía las diferentes situaciones de la vida. Sobre todo cuando se trata de una materia como la Conservación de la Naturaleza, en mayúscula, con los volcanes como protagonistas, como le sucedió con la erupción del Teneguía en 1971, y con los Parques Nacionales de Canarias.

Conocí a Telesforo a mitad de la década de 1960, caminando en la portuense Peña Baeza que presidía el recordado fotógrafo de la naturaleza Imeldo Bello Baeza; cuando me nombraron director del Parque Nacional del Teide en la década de los 70 compartimos Patronato; al igual que en el Parque Nacional de Garajonay cuando comencé mi andadura como director del mismo, en 1982. En 2004, dos años después del fallecimiento de

Telesforo, participé en la elaboración de una “Cantata a la Naturaleza”, en homenaje a Telesforo Bravo y a los 50 años de la declaración del Teide como Parque Nacional. Resultó ser una matriz energética, combinación de música y poesía, con la coral portuense Reyes Bartlet como protagonista, que se desarrolló a lo largo de un sendero virtual que iba desde el Atlántico hasta el Pico del Teide, de la mano del naturalista alemán Alejandro de Humboldt, al que tanto admiró Telesforo, y de la poeta cubana Dulce María Loynaz, a quien conoció en el Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias (IEHC) cuando la inauguración de la sede de la institución en 1953.

En la actualidad continúo mis relaciones con el profesor Bravo, participando en los actos del centenario de su nacimiento en el Puerto de la Cruz, en enero de 1913, que recuerdan al sabio portuense como naturalista por antonomasia, científico humilde, profesor excursionista, descubridor de rincones insulares, defensor del espacio natural de las laderas de Martiánez, comunicador exquisito, fornido atleta, trabajador, fotógrafo, empedernido luchador que murió en un día de calima invernal, con las botas puestas, al igual que Viera y Clavijo, cuando ojeaba un libro.

Durante todo ese tiempo Telesforo publicó trabajos relacionados con las ciencias de la naturaleza, caso del lagarto gigante, y con la geografía general de Canarias hasta estudios geológicos y petrográficos de La Gomera; investigó sobre las galerías de agua en Tenerife y La Palma, y estudió en Lanzarote, la isla de Manrique, el volcán de La Corona, los Jameos del Agua y la Cueva de los Verde. También desgranó la hidrología de la Caldera de Taburiente, dibujó mapas vulcanológicos y realizó aportaciones geológicas fundamentales, como los deslizamientos gravitacionales que permitieron explicar los procesos que originaron las grandes depresiones de Tenerife (la Caldera de las Cañadas y los valles de La Orotava y de Güímar). Unas veces los escribió solo y otras junto a colegas geólogos, algunos de ellos familiares, como su yerno Juan Coello, y su hijo Jesús Bravo.

A lo largo de su dilatada vida, cerca de 90 años, al igual que el naturalista alemán Alexander von Humboldt, tuvo diversas responsabilidades en los ámbitos académicos, particularmente en el científico, relacionado con los Volcanes y el Agua, con la Gea y la Cultura. Fue miembro de la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Tenerife (RSEAPT) y dirigente del Instituto de Estudios Canarios, entre otras instituciones culturales, así como del Museo Canario en Las Palmas de Gran Canaria.

Por sus méritos profesionales recibió múltiples reconocimientos en diferentes ámbitos: académicos, técnicos, sociales y culturales. Fue distinguido como Medalla de Oro de la Asociación Viera y Clavijo, Cofrade de Honor del Vino, Premio Canarias de Investigación y Premio César Manrique, Hijo Predilecto de Tenerife, entre otras. A título póstumo

la comunidad canaria y su pueblo natal, le reconocieron de manera singular con la Gran Cruz de la Orden de Canarias y la Medalla de Oro, respectivamente.

Existen en la geografía canaria lugares y formaciones naturales que hacen referencia a Telesforo Bravo, como sucede con el sendero que llega desde La Rambleta hasta el Pico del Teide, el punto más alto del territorio español (3.718 metros); con la quesera volcánica de Lanzarote que lleva su nombre, o con el acuífero Coebra ligado a los profesores Telesforo Bravo y a Juan Coello en la Caldera de Taburiente (La Palma), al igual que existen especies animales asociadas a Telesforo Bravo: una rata fósil (*Canariomys bravori*) y un lagarto (*Lacerta bravoana*). Una especie vegetal endémica de La Gomera (*Euphorbia bravoana*) está dedicada a su hermano Buenaventura por el ínclito botánico sueco Enrique Sventenius, amigo de los hermanos Bravo, quien se sorprendió gratamente cuando conoció en la isla colombina el impacto de la lluvia horizontal. Un Instituto de Enseñanza Secundaria del Puerto de la Cruz lleva el nombre de Telesforo Bravo, al igual que el Centro de Visitantes del Parque Nacional del Teide, en La Orotava. Esperemos que algún día sea realidad el Museo del Agua “Telesforo Bravo” en el Puerto de la Cruz.



Fig. 1. Telesforo Bravo me enseñó a convivir con los espacios naturales protegidos, especialmente con el Parque Nacional del Teide.

Telesforo no solo hablaba con las piedras, como escribió su amigo el poeta y médico Carlos Pinto Grote. También fue Maestro de la Convivencia, con las plantas y los animales, con el agua y los minerales. Particularmente me enseñó a convivir con los espacios naturales protegidos, especialmente con el Teide, en Tenerife, y el Garajonay, en La Gomera, y con recursos culturales como los gánigos guanches cerca de la vía pecuaria del Camino de Chasna y con el silbo y la gastronomía junto a los roques, taparuchas y fortalezas gomeros, respectivamente. Me ayudó a gestionar y compaginar la conservación de los recursos naturales con el uso público en los citados parques nacionales. Gratos recuerdos mantengo del profesor Bravo en las visitas al Teide y al Garajonay con los técnicos del National Park Service (NPS) de los EEUU y con los jóvenes valores profesionales españoles incorporados al organismo de Parques Nacionales tras la aplicación del “Espíritu de Yellowstone” que se trajo de América, en 1972, el ínclito ingeniero forestal Francisco Ortuño. Telesforo fue amigo también del ingeniero forestal Juan Nogales y del artista César Manrique. Todos ellos tuvieron mucho que ver con la declaración de Timanfaya como Parque Nacional en 1974. Notables las observaciones de Telesforo al caso de la explotación de las minas de piedra pómez en el Teide por parte de la empresa Hersián Minas del Teide y de alguna que otra presa en Garajonay propuesta por la Comunidad de Regantes.



Fig. 2. Telesforo Bravo, Juan Nogales y César Manrique tuvieron mucho que ver con la declaración de Timanfaya como Parque Nacional en 1974.

En el recuerdo mantenemos vivas las clases magistrales que Telesforo impartió en septiembre de 1999 a la Asociación Humboldt de España, cuando la celebración del bicentenario de la visita de Humboldt a Tenerife. Inolvidables las dos charlas en el Parque Nacional del Teide, una en el Portillo y otra en Boca de Tauce. Habló del origen de las Cañadas y del complejo Teide-Pico Viejo en el Centro de Visitantes mientras que en el mirador de Pico Viejo relató el volcanismo histórico de Canarias y evocó las distintas erupciones: en Tenerife (Arafo, Fasnia y Garachico, entre 1704-1706, Pico Viejo en 1798 y Chinyero en 1909), en La Palma (San Juan, 1949, y Teneguía, 1971) y en Lanzarote (Montañas del Fuego, en 1730-36 y Tinguaton, 1824).

Aún no se había producido la erupción submarina de La Restinga de 2011 en El Hierro. Curiosamente la isla del Meridiano fue también para nosotros un auténtico laboratorio de convivencia con la naturaleza. La excursión que en la primavera de 1969 hicimos la Peña Baeza a la isla de los bimbaches, con Telesforo Bravo de líder, resultó inolvidable, así como las figuras del sobreguarda forestal don Zósimo Hernández y el cronista don José Padrón Machín, protagonistas herreños. También doña Valentina, en Sabinosa, el Crés en la Dehesa, las laderas del Julan y la excursión a las Chamuscadas y Ventejís en busca del Garoé, marcaron un referente en la historia mediática de la isla El Hierro. Telesforo disfrutó con nosotros y nosotros aprendimos del maestro. Fue uno de los ejercicios más valorados de nuestra Convivencia con la Naturaleza, con la geología de la isla, con los jóvenes volcanes, con el pinar, con el sabinar, con la historia del Garoé, con el mar de las Calmas, con el Meridiano de Orchilla, con el agua escondida en la lenteja basal, y con el recuerdo de los lagartos gigantes de Salmor.

El profesor Bravo tenía un sentido muy peculiar del patrimonio natural. Recuerdo que cuando se asomaba al valle de La Orotava en el mirador de las Piedras de los Pastores, en el borde de la finca estatal “Cumbres del Realejo Bajo” que administraba don Pedro -el guarda forestal que hablaba con la setas- le gustaba decir: “Desde Tigaiga hasta Tamaide y desde el mar hasta la cumbre, todo esto en mío”. Lo cierto es que nunca fue egoísta, todo lo contrario, un verdadero Maestro de la Convivencia, al que le gustaba compartir sus conocimientos. Ahora que se cumplen cien años de su nacimiento (1913-2013), es una buena oportunidad para recordarlo.

Peña Baeza

Entrando en materia, en esa otra perspectiva a la hora de analizar su figura, voy a contarles mis relaciones con don Telesforo. Físicamente comenzamos a caminar por la senda que nos marcaba la Peña Baeza, continuamos con los Parques Nacionales del Teide y Garajonay, seguimos con Humboldt con ocasión del bicentenario de su paso por Tenerife,

cerrando con la *Cantata a la Naturaleza*, en 2004, de la mano poética de Dulce María Loynaz y la ayuda musical de la Coral Reyes Bartlet.

El botánico sueco Enrique Sventenius, que se afincó en el Puerto de la Cruz a su llegada a Canarias para trabajar en el Jardín Botánico de La Orotava, conoció a Buenaventura Bravo y a su hermano Telesforo, quienes habían estudiado magisterio. Se hicieron amigos, muy amigos. Buenaventura marchó a La Gomera, donde se quedó, y Telesforo marchó a Madrid donde se graduó como licenciado en Ciencias Naturales.

Se reunían a veces en el patio de la casa portuense de Imeldo Bello Baeza, el fotógrafo al que tanto le gustaba plasmar, -primero en blanco y negro y luego en color-, la naturaleza de Canarias. Dio nombre a un grupo montañero muy famoso en las islas, la Peña Baeza, fundada el año en que nació, en 1942. Aunque yo era natural de La Orotava me incorporé a ella a mitad de la década del año 1960 cuando regresé de estudiar ingeniería forestal en Madrid. Las tertulias en el patio de Imeldo eran inolvidables. Además del presidente Baeza, que entraba y salía constantemente del cuarto oscuro, participaban contertulios como Telesforo, el Dr. Luis Espinosa, que aún vive, Vicente Jordán, que luego sería mi suegro, y el padre Paco, abuelo del famoso fotógrafo del submarinismo, Francis Pérez. Celestino Padrón y yo nos limitábamos a escucharlos.



Fig. 3. La mayoría de las excursiones que hice con la Peña Baeza fueron por las Cañadas, y las cumbres de La Orotava y Arafo.

La mayoría de las excursiones que hice con la Peña Baeza era por las Cañadas, también por las cumbres de La Orotava y de Arafo, y por el barranco del Infierno, y en menor proporción por Masca y el Monte del Agua. En puntuales ocasiones viajamos a otras islas, a La Gomera y a El Hierro en particular. Fue cuando conocí a Telesforo como asesor y maestro. Me enseñó muchas cosas: caminar, observar el medio natural y reconocer la importancia de las fotografías; también a pensar, a comprender las emociones, a diferenciar los valores. Era un verdadero maestro, no en vano llevaba el título de catedrático, de la vida y de la universidad. Vicente Jordán, que luego sería mi suegro, era el fedatario público de las actividades de la Peña Baeza. En 1982, siendo presidente el amigo José Segura, el Cabildo de Tenerife le editó su libro de excursiones *TENERIFE A PIE*. Formó parte de la serie *Azul y Blanco* junto con otra obra del profesor de geografía Leoncio Afonso. A Vicente Jordán le gustaba hacer caricaturas y por ello inmortalizó a la Peña Baeza en una excursión por los montes de la isla de Tenerife siguiendo la técnica que aprendió del ínclito Bagaría, en tiempos de la II República. Imeldo encabezaba la expedición, que estaba conformada ese día por Telesforo Bravo, el padre Paco, Luis Espinosa y el mismo autor. En otra ocasión recogió al mismísimo Telesforo con su inseparable martillo de campo.

La Casa Forestal de Los Realejos y la finca Cumbres del Realejo Bajo, propiedad del Estado y administrada por Pedro González, el guarda forestal realejero que le hablaba a las setas, también formó parte de algunas actividades de la Peña Baeza. Telesforo disfrutaba cuando subíamos a la Fortaleza o nos acercábamos a la Piedra de los Pastores para contemplar el paisaje volcánico del valle de La Orotava. Y de camino comentar: “Desde Tigaiga hasta Tamaide, desde el mar hasta la cumbre, todo eso es mío”. Buen sentido de la propiedad.

El Hierro y Zósimo

De las excursiones de la Peña Baeza por las islas periféricas a las capitalinas sobresale la que realizamos a la isla de El Hierro, con parada en La Gomera, en los carnavales de 1969. Era una expedición abigarrada, conformada por un fotógrafo, Imeldo Bello; por un profesor universitario, Telesforo Bravo; por un médico traumatólogo, Luis Espinosa; por un abogado, Celestino Padrón; por un funcionario de obras públicas, Manuel Rosales; y por un ingeniero de montes, Isidoro Sánchez.

Llegamos a la isla colombina en barco, a las 7 de la mañana después de haber salido del puerto de Santa Cruz de Tenerife a las 10 de la noche anterior. Desayunamos en la plaza de San Sebastián con Buenaventura Bravo, hermano de Telesforo, maestro y ex alcalde de la capital gomera donde residía con su familia. Durante las dos horas de estadía en La

Gomera pudimos contrastar la realidad conservacionista de la administración forestal a la que me había incorporado un año antes, el Patrimonio Forestal del Estado (PFE). Se habló de Sventenius, del estado de los montes, de la laurisilva, de la lluvia horizontal, de las repoblaciones y del interés del Cabildo Insular de La Gomera para proteger el ecosistema forestal insular bajo la figura de Parque Nacional.



Fig. 4. En San Sebastián de La Gomera desayunamos con Buenaventura Bravo antes de continuar hacia El Hierro.

Los hermanos Bravo eran mucho. Se les notaba que conocían la isla colombina, ya que habían sido destinados como profesionales de Magisterio. Para mayor abundamiento Telesforo había redactado su tesis doctoral sobre Geología y Petrología de La Gomera. De hecho Telesforo me regaló una copia de su trabajo doctoral con una excelente fotografía en la portada de Los Órganos de Vallehermoso, y me animó a que preparase mi tesis doctoral sobre algún tema forestal de la isla y por ello le pedí al catedrático de botánica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniero de Montes (ETSIMO), Juan Ruiz de la Torre, que me tutelase un trabajo sobre “La laurisilva de La Gomera” como ejercicio del doctorado. Así empecé pero años más tarde, en 1977, lo dejé por culpa de mi irrupción en el mundo de la política. No obstante aporté mi granito de arena a la declaración de Garajonay como Parque Nacional (1981) y luego como Patrimonio Mundial

en 1986. No fui doctor pero si me siento orgulloso de mi contribución profesional a la causa de la Conservación de la Naturaleza en la isla colombina. Y de eso sabía mucho Telesforo.

Seguimos en barco durante cuatro horas hasta el puerto de La Estaca en El Hierro donde nos esperaba con su jeep Zósimo Hernández, sobreguarda forestal, natural de La Palma, responsable en la isla de los organismos agrarios, tanto del Distrito Forestal como del Patrimonio Forestal del Estado y del Instituto Nacional de Colonización. Saludamos enseguida al ínclito periodista y escritor don José Padrón Machín, quien nos dedicó una crónica muy especial resaltando la presencia de don Telesforo Bravo, ya que le conocía por diversas razones y circunstancias, especialmente por su magisterio en el mundo del agua y de la etnografía.



Fig. 5. En la expedición a El Hierro participaron además del fotógrafo Imeldo Bello, Luis Espinosa, Zósimo Hernández, José Padrón Machín, Telesforo Bravo, Celestino Padrón, Manuel Rosales y el autor.

Nos alojamos en la vieja casa forestal de El Pinar que estaba casi en ruinas y con tal motivo Telesforo, además de enseñarnos de la mano de

Zósimo la isla del Meridiano, fue protagonista de varias anécdotas singulares. Una, el día que llegamos, cuando expulsó de la casa a Imeldo para que durmiera bajo los pinos, ya que roncaba como un descosido; la otra fue conmigo, cuando intervino en una cena que degustamos en casa Bartolo, en Taibique. Me llamó la atención como consecuencia de un ataque de risa que me entró cuando don José Padrón Machín se puso a cantar ópera entre velas. Fue la primera vez que comí viejas fritas.

Una tercera anécdota fue muy llamativa y explosiva, nunca mejor dicho, cuando el amigo Rosales le preguntó por enésima vez al profesor Bravo qué era la piedra volcánica (un piroclasto) que llevaba en la mano. La había descubierto en uno de los volcanes que caracterizan el valle de Frontera, junto al campanario de la iglesia de la Candelaria. Telesforo le contestó que aquella pieza era la “pinga” de un bimbache. Rosales no volvió a preguntarle más el resto de la semana. Hasta los agricultores que cavaban las viñas por El Sitio y Las Lapas se sorprendieron de nuestra risa. Estoy seguro que hasta los lagartos gigantes que años más tarde, en mayo de 1975, redescubriera en la Fuga de Gorreta el corpulento Juan Machín, abuelo del luchador “Pollito de Frontera”, se echaron sus carcajadas al escuchar el golpe humorístico de don Tele.



Fig. 6. Luis Espinosa, Telesforo Bravo, Celestino Padrón, José Padrón Machín, Isidoro Sánchez, Zósimo Hernández y Manuel Rosales, conversando animadamente en una sobremesa.

Durante la semana de estancia en la isla de los bimbaches Zósimo nos llevó a La Restinga y a la Dehesa, a Frontera y a Sabinosa. Telesforo nos explicaba el Julan y la joven historia geológica de la isla de El Hierro, la estructura interna de la misma, la justificación de la ausencia de galerías y la existencia de la lenteja basal, así como la necesidad de abrir pozos-galerías si querían alumbrar aguas subterráneas. Nos repetía una y otra vez: “Señores, que esta isla de El Hierro es similar a un vaso o una copa que recibe un martillazo, se rompe y sólo quedan cristales rotos y porosos de manera que cuando llueve, el agua se infiltra y baja hasta el nivel del mar”.

En esa época el amigo palmero Manuel Kábana no había comprado aún las fincas del sur, ni en el Lajiar ni en el Julan y por tanto no se habían abierto galerías a nivel del mar.



Fig. 7. Valle del Golfo (Frontera) desde el mirador de Basco. Durante la semana de estancia en la isla de los bimbaches Zósimo nos llevó a La Restinga y a la Dehesa, a Frontera y a Sabinosa.

Al bajar a La Restinga, don José Padrón Machín nos enseñó la Cueva de Cho Justo, junto al volcán de los Concheros, donde se refugió cuando la Guerra Civil española. Ya en el pueblo de pescadores comprobamos la calidad de los productos del mar en Casa Juan, con una sopa de lapas única, y unas cabrillas insuperables. Podíamos comprar pescado a tres duros el kilo. Sobre todo viejas que las subíamos a El Pinar para cenar. En la playa

restinguera nos bañamos sin miedo ya que faltaban aún 44 años para que un volcán submarino entrara en erupción, en 2011. Y también para que un nieto de Telesforo, Juan Jesús Coello Bravo, se acercara a estudiar el fenómeno telúrico en el Mar de las Calmas, y junto con otros colegas reivindicase el ansiado Instituto Volcanológico de Canarias.

De los repartos de las tierras de El Crés entre los vecinos de Sabinosa, por parte del capitán general Serrador, nos habló Zósimo y Telesforo. Se debió a la hambruna que sufrió la población herreña de Sabinosa, tras la guerra española, que se acrecentó con la seca de 1948. Entonces pudimos escuchar de boca del profesor Bravo la importancia de la altitud en la vegetación y en el clima de las islas. Nos acordamos de los pisos geobotánicos descritos por el admirado Alejandro de Humboldt cuando recorrió el valle de La Orotava, desde el mar hasta el Pico del Teide.

En esos días se estaban plantando pinos canarios en la zona del Julan y se vallaba la finca comunal “El Sabinar” para evitar la entrada de las cabras. Eran fincas consorciadas entre el Cabildo y el PFE para su repoblación forestal. Telesforo, que conocía bien esta zona de volcanes modernos, nos contó el papel que desempeñaban los cuervos a la hora de regenerar las semillas de las sabinas, algunas de las cuales eran espectaculares. Una de ellas lleva el nombre de Machín, en referencia a la cabellera del famoso escritor pinareño.



Fig. 8. Vista aérea de Orchilla y su faro.

Imeldo se durmió comiendo en el Refugio de La Dehesa, incluso llegamos a grabarle los ronquidos, y tras el almuerzo oficial -judías y cordero- pudimos conocer el impacto de la saludable “Agua de Sabinosa” que habían traído en garrafones. Algunos salimos corriendo hasta la costa donde pudimos bañarnos, coger lapas espectaculares y subir al faro de Orchilla. Los torreros nos entregaron un diploma como recuerdo de nuestra visita. A petición de Telesforo nos contaron la historia del Meridiano cero. Nos sentimos muy orgullosos y al mismo tiempo enfadados con los ingleses por haberse llevado la raya geográfica para Greenwich, cerca de Londres, en la segunda mitad del siglo XIX.

Lo importante sin embargo era el agua y por ello Zósimo nos llevó a la zona de Las Chamuscadas para conocer el Garoé moderno, un Til, que en 1948 había plantado por encargo profesional de don Leoncio Oramas, ingeniero de montes y jefe del Distrito Forestal de Tenerife. También los ingenieros Francisco Ortuño y José Miguel González salieron en la conversación. Por ello antes de bajar a La Frontera visitamos el Garoé. El paraje de Ventejís nos pareció lejos y encima estaba lloviendo, el barro hizo acto de presencia y tuvimos un pequeño accidente en la zona volcánica de Las Chamuscadas ya que al jeep forestal se le fueron los frenos. La prudencia de Zósimo y la tranquilidad de Telesforo animaron el cotarro. El Garoé no quería aparecer hasta que Zósimo y Telesforo nos llevaron hasta el barranco. Fue un momento inolvidable. El veterano sobreguarda forestal nos contó con todo detalle el trabajo profesional que le encargó don Leoncio Oramas. No había carretera como la de hoy cuando se bordea el caserío de Tiñor, donde Tadeo Casañas tenía su cuartel general para la captación del agua. Lo que si existía era la caldera volcánica de la Gorona, fundamento de un proyecto hidroeléctrico espectacular que le hubiera gustado mucho conocer a don Tele, y va ser referente de las energías renovables en Canarias.

Siempre resaltaba el profesor Bravo la relación entre geografía y naturaleza. En Frontera aún no se habían redescubierto los lagartos gigantes de Salmor en la Fuga de Gorreta, ni abierto el túnel. Tampoco se había desgajado el municipio de El Pinar. Después de acercarnos al mirador de Las Playas, donde Telesforo nos deleitó con sus lecciones sobre geología, y nos adelantó algo sobre los deslizamientos gravitacionales en los que venía pensando hacía tiempo, pasamos por la cumbre. De El Pinar a La Frontera. Tampoco el ministro de Turismo Fraga Iribarne había ordenado la construcción del Parador ni Tomás Padrón le había encargado el Mirador de la Peña a César Manrique. El asfalto no había sustituido aún a la tierra y la zona recreativa de la Hoya del Morcillo no la tenía en mente. Recuerdo que Imeldo se enamoró de esta zona de Monteverde donde años más tarde un naturalista canario, el botánico palmero Arnoldo Santos, descubrió la faya romana.

Al llegar al valle de La Frontera, Zósimo nos llevó a Sabinosa para que conociéramos el Pozo de la Salud y a la ínclita Valentina, la señora del tambor herreño. El rato que pasamos con doña Valentina fue inolvidable. Aquella voz herreña, castellana, arcaica, nos embelesó. Y no digamos nada del toque con el tambor, un auténtico concierto de percusión de música ancestral.

En noviembre de 1966 comencé a trabajar como ingeniero del Patrimonio Forestal del Estado en los montes consorciados del norte de Tenerife y de La Gomera. Era una época en la que Telesforo Bravo investigaba las galerías de agua subterráneas que de manera mayoritaria se desarrollaban en el subsuelo de los montes públicos, lo que me permitió conocerle profesionalmente en los expedientes de ocupación de los montes afectados. Le conté mi experiencia profesional en La Caldera de Taburiente de la mano del Heredamiento de Argual y Tazacorte y de Rosendo, su administrador, cuando redacté un estudio bioturístico de dicho espacio natural protegido así como del PN del Teide.



Fig. 9. Doña Valentina acompañada de un amigo herreño, Zósimo Hernández, Celestino Padrón, Isidoro Sánchez, Telesforo Bravo, Luis Espinosa y Manuel Rosales.

Cuando nace el Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) en 1971, me responsabilizan de la totalidad de los montes de La Gomera y El Hierro. Mi dedicación es completa a ambas islas. Con los años, en 1982, escribo un artículo en la prensa acerca del

Garoé y recibo un premio. Recientemente me empeñé en contar mis memorias vitales en la isla de El Hierro y se lo dediqué a Zósimo y a su esposa Margarita, que entre otras cosas, me enseñaron a ahorrar agua. Hay varias fotos en las que aparece el amigo Telesforo. En La Restinga con Zósimo y el grupo de la Peña Baeza, en Sabinosa con doña Valentina y en Casa Bartolo con Padrón Machín.

El Parque Nacional del Teide (1974-1979)

Telesforo, a la vuelta de su periplo por el extranjero, termina su doctorado y en 1966 se inicia como profesor en el mundo académico incorporándose como catedrático a la Universidad de La Laguna. Vive como nadie la erupción del volcán Teneguía en La Palma, octubre de 1971. Ya había sido nominado miembro del Patronato del PN del Teide como una de las tres personas de destacado reconocimiento social junto al arqueólogo Luis Diego Cuscoy y al biólogo Carlos Silva. En 1974 coincido con él en el Patronato una vez que Francisco Ortuño, al regreso de los EEUU adonde viajó en 1972 para participar en la conmemoración del centenario del Parque Nacional de Yellowstone, me nombra director-conservador del Teide. Fue una derivada administrativa del llamado “Espíritu de Yellowstone” que caracterizó la doctrina conservacionista en España a partir de entonces. Trajo además la figura de los PRUG, Planes Rectores de Uso y Gestión, en los que Telesforo aportó mucho por sus conocimientos, sobre todo una vez que se aprobó en el Congreso de los Diputados la reclasificación del Parque Nacional del Teide, en 1981.

A Telesforo le veía mucho por Las Cañadas cuando los Sánchez íbamos a cazar a las cumbres de la isla. Gustaba de ir al Parador de Turismo donde su esposa, doña Asunción, se quedaba leyendo mientras él disfrutaba como un enano caminando por la crestería del Parque, por Guajara o por las Siete Cañadas. Además de la natación le gustaba caminar y caminar. En verdad le venía bien el nombre de Tarzán de Martiánez.

Nuestra presencia en el Patronato del PN del Teide coincidió con la etapa de los gobernadores como presidentes de los mismos. Entre otros, Mardones y Rebollo. También con el año de la declaración de Timanfaya como Parque Nacional en Lanzarote, en la que mucho tuvo que ver el artista César Manrique, amigo personal de Telesforo Bravo, y el ingeniero Juan Nogales, responsable en gran parte de la marcha de Sventenius a Gran Canaria para iniciar el jardín canario Viera y Clavijo en Tafira. Manrique y Bravo se conocieron en la isla conejera cuando Telesforo visitó Lanzarote en 1964, para estudiar el volcán de La Corona con sus espectaculares Jameos y Cueva de los Verde. El profesor Bravo se quedó enganchado y publicó una excelente información divulgativa de este conjunto vulcanológico y de la famosa “quesera volcánica”.



Figs 10-11. A Telesforo le gustaba ir al Parador de Turismo donde doña Asunción se quedaba leyendo mientras él disfrutaba caminando por la crestería del Parque, Guajara o las Siete Cañadas.

Años antes, en el verano de 1959, tuve la oportunidad de conocer Lanzarote cuando jugamos el Torneo de San Ginés de fútbol, en el orotavense equipo juvenil Plus Ultra. Nos llevaron de excursión al volcán de La Corona y a sus llamativos Jameos del Agua. Allí nos fuimos con los dirigentes del Club y constatamos la belleza natural del jameo y la existencia de un cangrejo ciego, adaptado al medio.

Cincuenta años más tarde, en 2009, muchos de aquellos jugadores volvimos a visitar la Cueva y los Jameos. Nos acompañó Manuel Rodríguez Mesa, dirigente del Club en 1959, y miembro destacado de la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Tenerife (RSEAPT). Se enfadó mucho con la guía turística que nos acompañó cuando descubrió su ignorancia sobre la figura de Telesforo Bravo. Prometió enviarle, y así lo hizo, una copia del trabajo del profesor Bravo sobre los volcanes de Lanzarote.

La década de los años 70 fue la época en que se firmó la renovación del Tratado España-USA en el que Francisco Ortuño incluyó la conservación de la naturaleza, con los Parques Nacionales de Canarias en primera línea. Así conocimos en estas islas la presencia de técnicos, biólogos y geólogos del Nacional Park Service (NPS) de los EEUU a quienes Telesforo acompañó en su periplo canario. Como lo hiciera asimismo el biólogo Carlos Silva, en su calidad de miembro del Patronato del PN del Teide. Por cierto, el debate en el seno del Patronato acerca de las explotaciones de la piedra pómez fue inolvidable. Se iniciaba la democracia y la palabra de don Tele resultó decisiva. Era una voz autorizada en la materia. Como bien señaló Ernesto Salcedo, el Teide se “desplazó” a Madrid para negociar entre los ministerios implicados el resultado final. Al final ganó el medio ambiente a la industria. Los ecologistas se desencadenaron en Montaña Blanca y la clase política democrática se encargó entonces de acabar con la explotación del mineral.

Por entonces tenía la costumbre de pedirle a don Tele diapositivas de su magnífica y amplia colección para mis charlas y mis artículos. Siempre fue muy amable hasta el día en que me dijo: “Se acabó. A partir de ahora las sacas tú y que el ICONA te compre una cámara fotográfica”. Así lo propuse oficialmente y la administración, es decir José Miguel González, me adjudicó una magnífica máquina con la que saqué miles de diapositivas que junto a las de Antonio Machado dejamos en el archivo oficial con las fotografías de Imeldo Bello Baeza. Hoy creo que está depositado en el Archivo Histórico Provincial.

Ya habíamos iniciado con un amigo de Telesforo la red de senderos del norte de Tenerife. Se trataba del inquieto hotelero portuense Enrique Talg, uno de sus compañeros de pensión en Madrid. Por otra parte, José Miguel González en 1975 me había encargado iniciar el expediente del Parque Nacional de Garajonay. Años más tarde, en 1979, dediqué una parte de mi

vida a la causa democrática de la “*res publica*” irrumpiendo en la vida política de mi villa natal, La Orotava, aunque residía en el Puerto de la Cruz.

Una de las primeras cosas que me sugirió Telesforo cuando llegué a la dirección del Parque Nacional del Teide y se inauguró el Centro de Interpretación en el Portillo de la Villa, fue la adquisición de un documental audiovisual sobre la erupción del volcán Teneguía, en la isla canaria de La Palma, ocurrida en 1971. Lo conseguí en Madrid a través del ministerio de Educación y se proyectaba todos los días. Era una joya divulgativa de un volcán canario y Telesforo había sido uno de sus protagonistas a la hora de estudiarlo sobre el terreno junto al profesor Coello y otros geólogos más.



Fig. 12. La opinión de Telesfora Bravo fue decisiva en el debate en el seno del Patronato acerca de las explotaciones de la piedra pómez.

Personajes ilustres como Dulce María Loynaz y Alejandro de Humboldt, así como otras circunstancias de la vida hacen que conozca al poeta y profesor José Javier Hernández. Natural del Puerto de la Cruz, reside en la capital tinerfeña, y fue alumno de don Telesforo, además amigo de su familia por el magisterio en el colegio de Segunda Enseñanza en la ciudad turística. A José Javier también le gusta caminar y escribir, como a muchos de nosotros, pero en 2003, un año después de la marcha de

Telesforo de este mundo terrenal, escribió un poemario, homenaje al volcán que tituló: *El teide en la mirada*. Entre otros, unos versos sobre “el tiempo inabarcable” que aglutinó en el poema *No te nombro...* y se lo dedicó a los miembros de la Peña Baeza.

El Parque Nacional de Garajonay

Con la entrada en vigor del Instituto para la Conservación de la Naturaleza (ICONA), en 1971, tuve la oportunidad de dedicarme en cuerpo y alma a La Gomera. José Miguel González, que era el jefe en Canarias, me nombró responsable técnico del citado Instituto en dicha isla. Reconozco que fueron los mejores años de mi vida profesional aunque también tenía responsabilidades en la isla de El Hierro, y en el Teide. ¡Casi nada!

Mi amistad con Telesforo me abrió muchas puertas en las islas no capitalinas y además, si contaba con amigos de la universidad, mejor aún. Las excursiones de 1969 con la Peña Baeza de la mano del profesor Bravo me sirvieron de guía a la hora de comenzar mis actividades en el sector forestal. Por supuesto con el apoyo de los sobreguardas de ambas islas, Zósimo en El Hierro y León Sosa en La Gomera. Y por supuesto con Buenaventura Bravo, que fue alcalde del municipio capitalino gomero.



Fig. 13. En 1974 se inició el expediente de la declaración del Parque Nacional de Garajonay.



Figs 14-15. El Parque Nacional de Garajonay destaca fundamentalmente por constituir el principal exponente de la laurisilva canaria.

Inicié en 1974 el expediente de la declaración del Parque Nacional de Garajonay cuando José Miguel González regresó del seminario de Parques Nacionales de los EEUU. Me apoyé en biólogos como Antonio Machado, Ángel Bañares y Jorge Bonnet, y en naturalistas como Keit Emerson y Gunter Kunkel.

A pesar de los cambios políticos de entonces, incluido el golpe de estado de Tejero, llegamos a marzo de 1981 para conocer la declaración de los montes de laurisilva de La Gomera como Parque Nacional de Garajonay. El Convenio de Parques Nacionales Gemelos firmado entre USA y España me permitió en la primavera de ese año viajar a Hawai donde conocí la naturaleza volcánica de aquel archipiélago, gemelo al nuestro: oceánico y turístico. Las excursiones por la Caldera del Kilauea y por las faldas de los imponentes volcanes del Mauna Loa y Mauna Kea me recordaron los años de la Peña Baeza y el magisterio vulcanológico de Telesforo Bravo incluido el interés de sus amigos Enrique Talg y Luis Espinosa por los senderos volcánicos. Curiosamente uno de los problemas ecológicos que padecían estaba producido por la invasión de la faya macaronésica.

Al año siguiente, en 1982, comienza su andadura el Patronato de Garajonay y me nombran director del Parque Nacional. De nuevo la figura de Telesforo se incorpora a mis actividades, al igual que la del biólogo y ecologista Carlos Silva.

Los tres vivimos una delicada pero entrañable anécdota cuando renuncié a mi cargo de secretario del Patronato en los últimos años de mi etapa gomera, por culpa de las quejas de Carlos respecto a mis actas del Patronato. Telesforo, quien había sido presidente del mismo con carácter transitorio, entre Carlos Bencomo y Ramón Jerez, por el cambio UCD a PSOE en el gobierno español, propuso al ecologista como responsable de la secretaría. Se acabaron las protestas..., y las actas.

Aquellos cinco años como director del Garajonay fueron una delicia profesional a pesar de los problemas derivados a la hora de gestionar los recursos naturales y controlar el uso público por parte de la ciudadanía. Tengo que reconocer en ese sentido que el magisterio de Telesforo y su humanidad me sirvieron de apoyo total. No en vano cada dos o tres meses le llevaba en coche desde el Puerto de la Cruz, donde residíamos, a La Gomera, para asistir a las reuniones del Patronato. Teníamos mucho tiempo para hablar. Puerto de la Cruz – Los Cristianos – Puerto de la Cruz en coche, más el ferry Benchijigua, era un largo trecho. De igual manera me sirvieron de mucho las sugerencias del profesor Pedro Luis Pérez de Paz y las discrepancias puntuales del biólogo y ecologista Carlos Silva; obviamente las instrucciones técnicas de José Miguel González.

Algunas veces viajamos a La Gomera con Imeldo Bello Baeza para fotografiar la excepcional naturaleza de la isla y disfrutar también del silbo,

del folklore y la gastronomía, de la hospitalidad de sus gentes; también para plasmar, en blanco y negro, edificios con impronta colombina dada la vocación americana de la capital gomera. Al igual que rincones como Las Hayas y Arure, Chipude y El Cercado, Cerpa y Meriga, Juego de Bolas, El Cedro y los Acebiños, Cherelepil y Laguna Grande, Apartacaminos y los Chorros de Epina, las presas de Mulagua y la Encantadora, que se mantienen vivos en el recuerdo, algunos inmortalizados en láminas fotográficas. Inolvidables las reuniones gastronómicas en la bodega ecológica de Tamargada, en la Culata de Vallehermoso. Los cuentos de Telesforo asombraban al cura y a la guardia civil, al alcalde y al guarda forestal, a los amigos de Pedro González el bodeguero, cuando degustábamos los primeros caldos del año y la parra, que “limpiaba las tuberías” y facilitaba la circulación del organismo.



Fig. 16. Telesforo disfrutaba explicando las estructuras geológicas de esta isla de volcanes dormidos, en particular cuando nos enseñaba los detalles de domos como el Roque de Agando.

Tengo que reconocer que Telesforo disfrutaba explicando las estructuras geológicas de esta isla de volcanes dormidos, en particular cuando nos enseñaba los detalles de los domos como los Roques de Agando, Ojila, Zarcita y Carmona, en San Sebastián; o La Fortaleza, Roque

Cano y Los Órganos, en Vallehermoso; sin olvidar las taparuchas o diques que cruzaban algún barranco. No en vano realizó su tesis doctoral en La Gomera. Le gustaba acercarse a Casa Efigenia en Las Hayas para degustar las tradiciones gastronómicas gomeras. Todavía la alemana Ángela Merkel no visitaba la isla del Silbo. Después de mi marcha del Icona seguí saludando de vez en cuando al profesor Bravo, ya que vivíamos en el Puerto de la Cruz. Siempre le comentaba la pena que me quedó al no poder acompañarle a las portuguesas islas Salvajes en una excursión a la que me invitó.

Bicentenario de Humboldt (1999)

El bicentenario del paso del naturalista alemán Alejandro de Humboldt por Canarias no pasó desapercibido para la Fundación que lleva el nombre del ilustre prusiano. Los admiradores de Humboldt en Tenerife pudimos organizar en 1999 (junio y septiembre) una serie de actos que recordó el legado del científico berlinés y su relación con Canarias. El Parlamento europeo, el Gobierno de Canarias, el Cabildo de Tenerife, el Ayuntamiento del Puerto de la Cruz y una empresa privada como Loro Parque –por los pingüinos Humboldt– contribuyeron a ensalzar la efeméride. Telesforo Bravo también lo hizo pero participó en la segunda programación del año, ya que se dejó para septiembre la visita de los miembros de la Asociación Humboldt de España que presidía el magistrado Marino Barbero, famoso por el Caso Filesa.

Comprometí a don Telesforo, catedrático ya retirado de la ULL, para que diera una charla en el PN del Teide a los miembros de la citada Asociación. He de reconocer que el profe se pasó. No sólo nos deleitó en el Centro de Visitantes del Portillo sino que nos llevó hasta la carretera de Boca Tauce a Chio para darnos, subido a una roca, una clase de geología al pie de las Narices del Teide, describiendo la erupción de Pico Viejo de 1798. Su conocimiento sobre los volcanes y su admiración por Humboldt le hizo disfrutar como nunca cuando explicaba las incidencias del volcán. Rezumaba alegría, magisterio, humanidad, agradecimiento. Ese día casi otoñal resultó imborrable, espectacular. Creo recordar que fue una de sus últimas lecciones magistrales. Disfrutó como un niño, con una sonrisa fuera de lo común. Incluso se le notaba exultante, satisfecho por su contribución personal al homenaje a su admirado Humboldt.

Curiosamente el profesor canario tuvo un cierto paralelismo con el naturalista y geólogo prusiano. Telesforo Bravo nació en 1913 y falleció en el Puerto de la Cruz en 2002, con 89 años de edad. Como Alejandro de Humboldt, que siglos atrás, nació y murió en su ciudad natal, Berlín, y también vivió 89 años. Al cumplirse el centenario de su fallecimiento, en 1959, Tenerife le hizo un homenaje en la Cuesta de la Villa construyendo

un mirador que lleva su nombre y editando el Cabildo un libro escrito por el profesor A. Cioranescu. A los cien años de su nacimiento, Telesforo recibe, en 2013, un reconocimiento por parte de su familia y admiradores, algunos de los cuales le dedican también un libro además de promover su nombre para el Centro de Visitantes del Parque Nacional del Teide, en La Orotava.



Fig. 17. Telesforo participó en los actos del bicentenario del paso del naturalista alemán Alejandro de Humboldt por Canarias.

Ambos geólogos tuvieron una ajetreada vida profesional relacionada con los recursos naturales. Conocieron La Graciosa y Lanzarote, y Humboldt subió al Pico por el sendero que siglos más tarde llevaría el nombre de Telesforo. No obstante dejaron una magnífico legado científico aunque hubo una gran diferencia en algunos aspectos: Humboldt no dejó descendencia, Bravo si. Dos hijos: Jesús y Lourdes, y tres nietos: Juan Jesús, Francisco Javier y Jaime.

Cantus Naturalis (2004)

Creo recordar que fue en 2004 cuando los cimientos del edificio insular de Tenerife temblaron de nuevo después de los movimientos telúricos de

mayo de 1989. En ambas ocasiones creo que el inolvidable Telesforo Bravo se encargó de tranquilizar con sus serenas reflexiones vulcanológicas, a través de las ondas radiofónicas y televisivas, a toda la isla que vivía alrededor del padre Teide. Lo escribió recientemente el amigo Salvador García cuando se hizo eco del arranque del año de Telesforo Bravo en la portuense Casa de la Juventud.



Fig. 18. Humboldt subió al Pico del Teide por el sendero que siglos más tarde llevaría el nombre de Telesforo.

García lo calificó en su crónica de sabio, del naturalista por antonomasia, del científico humilde, del profesor excursionista, del observador y descubridor de rincones insulares. Me vino luego a la memoria un homenaje íntimo que una pareja ligada al Puerto de la Cruz. Antonio Machado y Chusy Hernández, le dedicaron hace algunos años en un reportaje especial que más tarde se convertiría en un antecedente de un proyecto muy peculiar: transformar el “Pozo de los Machado” en un Museo del Agua, dedicado a la figura de Telesforo Bravo. Espero que sea una realidad si el Plan de Rehabilitación para la Modernización del municipio turístico del Puerto de la Cruz llega a buen fin.

A Humboldt y a Telesforo me los llevé de paseo, de manera virtual, en mayo de 2004, en el 50 cumpleaños del Teide como Parque Nacional,

dentro de una “Cantata a la Naturaleza” muy especial. Fuimos caminando desde el Puerto de la Cruz hasta el Teide, con la poesía de Dulce María Loynaz y la música de Reyes Bartlet como herramientas de trabajo, acompañándonos a lo largo del sendero. Tenía claro que la mejor manera de educar era cantando pero eché en falta el surrealismo de Oscar Domínguez y de Juan Ismael pero me acordé de Agustín de Espinosa, de María Rosa Alonso, de Celestino González y de Yaya Reimers, al igual que de Francisco Bonnin y de Martín González. Una auténtica convergencia artística donde no podía faltar Telesforo. Tampoco las académicas Dulce María Loynaz, cubana, y Carmen Conde, española. Espero que en este año volvamos a recordarlos, ya que 2013 es una buena fecha para ello, al cumplirse 60 años del natalicio del Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias (IEHC), en el Puerto de la Cruz. Las dos ilustres escritoras estaban con Telesforo participando en los actos oficiales de entonces y ya Dulce María Loynaz, “una isla” en palabras de Carmen Conde, había escrito:

*“Al principio era el agua:
Un agua ronca, sin respirar de peces,
sin orillas que la apretaran...”.*

Sirvió para seguir escribiendo en la Cantata:

*“El agua lo envolvía todo con sus húmedas brazadas.
No había más que agua allí donde mirábamos.
Y del agua brotó la tierra, brotaron los árboles,
y brotaron todos y cada uno de los seres que poblaron el planeta....”*

De igual manera señalamos en esta peculiar *Cantata a la Naturaleza* que con la obra científica de Telesforo, mitad ecología, mitad paisaje, se inauguraron los estudios modernos sobre la geología: (i) de La Gomera y (ii) de la Caldera de Taburiente, que tanto impactó en 1815 a un amigo de Humboldt, el geólogo alemán Leopoldo von Buch. También se dieron a conocer las enigmáticas estructuras volcánicas aborígenes de Lanzarote, las llamadas queseras. El profesor Bravo descifró el secreto del agua gracias a sus relaciones con las estructuras geológicas de las islas, lo que le permitió estudiar su calidad y contar los riesgos de su contaminación, particularmente en el valle de La Orotava. Estoy seguro que Telesforo, además de hablar con las piedras, era un hombre moldeado por el agua.

A los dos meses de este singular homenaje a Telesforo se conoció el accidente que le costó la vida a su yerno Juan Coello. La geología en Canarias se quedó vacía y triste con la marcha de estos dos profesores. A

partir de entonces el IEHC comenzó a organizar las semanas Científicas Telesforo Bravo y así arrancan en 2006 hasta la actualidad, con una temática relacionada con el mundo de la Naturaleza. Entre tanto, sus nietos y amigos, al igual que los ayuntamientos del Puerto de la Cruz y de La Orotava promueven la creación de una Fundación que llevará los nombres de Telesforo Bravo y de Juan Coello.

Canarias desde el mar hasta el cielo

A modo de Epílogo tengo que reconocer que Telesforo Bravo fue un personaje muy especial de Canarias. No descubro nada nuevo. Es uno de los tres vértices del triángulo científico del valle de La Orotava y de Tenerife, junto a José Viera y Clavijo y Agustín de Betancourt. Vivió intensamente el siglo XX y se marchó a principios del XXI. Dignificó, como Viera y Betancourt, la tierra que le vio nacer, y la naturaleza que le acogió. Por algo La Orotava le distinguió con el Centro de Visitantes del Parque Nacional del Teide.

En base a ello nos hemos comprometido desde el grupo CPC (grupo fotográfico conformado por un cubano, un peruano y un canario) a divulgar las islas Canarias como destino turístico por su relación con la naturaleza, y con los volcanes en particular. Acudimos a la figura de los cuatro Parques Nacionales que desde el mar hasta el cielo se suceden como representación de los humboldtianos pisos de vegetación, y que Telesforo conocía como nadie. El libro *“Canarias desde el mar hasta el cielo”* se lo dedicamos a Viera y a Telesforo por sus respectivas efemérides. Fue un encargo de una empresa pública del turismo (Promotur) y de una empresa privada relacionada con el agua (Fonteide). Nos basamos en un fundamento en el que creemos: “La mejor manera de promocionar el turismo en un destino es adornarlo de literatura”. Esa fue la línea de actuación que le contó en 1924, a Francisco Dorta, el recordado y polifacético portuense Luis Rodríguez Figueroa.

Para mí, Telesforo, don Telesforo Bravo Expósito, fue un excelente naturalista y geógrafo, y un extraordinario científico del mundo de la GEA, además de amigo y maestro. Compartí con él más de treinta años de mi vida, desde 1967 a 1999. Desde la etapa de la Peña Baeza hasta el Bicentenario de Humboldt. Fue todo un orgullo haber conocido a este profesor tan especial, laureado a todos los niveles: técnico, científico, académico, político, turístico y gastronómico. Comunicador como pocos, excelente deportista, hombre sencillo y generoso, con un peso de humanidad muy exagerado. Además sabía estar, que no era poco, y me honró con su amistad.

Coincidí con Telesforo en muchos aspectos: Nacimos en un mes de enero aunque de signos distintos, él era capricornio y yo acuario; teníamos

un padre que era piloto de la marina, y nos gustaba el agua; disfrutamos en la Peña Baeza, caminando y sacando fotografías; trabajamos juntos en el PN del Teide y en el PN de Garajonay; fuimos admiradores de José Viera y Clavijo, de Alejandro de Humboldt y de Agustín de Betancourt, sin olvidar a Dulce María Loynaz. Nos gustaban los deportes y las cosas bien hechas, así como viajar. Por el mundo y por las islas Canarias, desde el mar hasta el cielo, y subir al Teide, en particular por el sendero que lleva su nombre.

Con los años fuimos reconocidos por el Centro de Iniciativas Turísticas (CIT) del Puerto de la Cruz, él con la medalla de oro y yo con la de plata. De igual manera los amigos del vino nos premian como cofrades de honor. Fue la única faceta en la que le gané, ya que bebía más que él.

En octubre de 2002 tuvo lugar en el lagunero Instituto de Estudios Canarios un homenaje –ya lo recordó Jaime Coello en la Casa de la Juventud portuense– al “*Dr. Telesforo Bravo: el último Naturalista canario*”. Su yerno y compañero, el recordado profesor universitario Juan Coello, dijo entonces que le gustaría terminar su intervención confirmando el título dado al profesor Bravo como “último naturalista de Canarias”. En su modesta opinión, había sido el canario que por su formación académica, esfuerzo, trabajo y ganas, mejor ha conocido la naturaleza de las islas en todos sus rincones.

Si me lo permiten, también lo certifico desde mi perspectiva personal. Y con la venia del profesor José Javier Hernández retomo el poema *No te nombro* para terminar y decirles:

*Una vez tuve un sueño,
pero era yo tan pequeño
que apenas puedo
recordar si fue en color.
Soñé una montaña
que rezumaba ternura...
y en su mensaje nada brotaba
porque lo esencial,
el equilibrio,
la armonía
y la claridad,
ya existían.*

... Entonces me acordé de Telesforo Bravo.

Agradecimientos: Las fotografías que ilustran este artículo (salvo las figuras 5, 6 y 9) fueron realizadas por Manuel Méndez Guerrero.

5. Telesforo Bravo, una vida a la búsqueda del agua

Francisco Javier Coello Bravo

*MPGA Ingeniería,
S.L.P.U.
fjcoebra@hotmail.es*

En este artículo se intenta dar una visión general de la relación que Telesforo tuvo con el mundo del agua y sus principales contribuciones en este campo. Esta faceta de su vida personal y profesional, aunque de gran importancia, no ha sido suficientemente resaltada ni se han valorado como merecen sus logros en la búsqueda, explotación y planificación de este preciado recurso. Se muestra además, la estrecha colaboración que mantuvo con el geólogo Juan Coello en esta materia y se citan algunos ejemplos, en sus propias palabras, de la clara visión que Telesforo tenía del problema del agua en Canarias.

“..Nacido en ambientes donde las investigaciones de aguas subterráneas fueron los temas más conflictivos, comienza a dedicarle atención desde 1950 y con sus conocimientos de las estructuras volcánicas se constituyó en consejero de numerosas prospecciones, tratando siempre de ordenar las explotaciones sin conseguir resultados debido a las deficientes leyes de aguas”. (Curriculum Vitae escrito por Telesforo a mediados de los años 70).

Breve semblanza hidrográfica.

1ª época: Canarias

Telesforo Bravo nace un 5 de enero de 1943 en el Puerto de La Cruz. Su padre, Buenaventura, era marino mercante y su madre, Hilaria, ama de

casa. Telesforo tiene dos hermanos, Hilaria, la mayor y Buenaventura, el mediano, que pronto se convierte en compañero de juegos y aventuras.

Su padre abandona pronto la vida en el mar y, entre otras ocupaciones, trabaja como responsable técnico de muchas obras de captación de aguas subterráneas en el Valle de La Orotava. Él es el que le lleva a visitar una galería por primera vez cuando tiene 13 años, se trata de la galería “Los Beltranes” en Los Realejos. Telésforo queda fascinado por ese mundo subterráneo. Las visitas a galerías y pozos se hacen frecuentes en su vida, siempre acompañando a su padre y su hermano.

En 1936, con 23 años, relaciona los restos fósiles que su padre había encontrado años atrás en un pozo que tenía la familia Machado (Fig. 1) en la zona del Barranco de San Felipe con los que el encontraba en el acantilado de Martiánez. Telesforo cede los restos al Doctor Llarena, profesor en La Universidad de Frankfurt Am Main que se los confía a un reconocido herpetólogo ruso, el Dr. Martens. Éste se apropia del descubrimiento y describe una nueva especie de lagarto gigante, denominado *Lacerta gallotia goliath*, sin citar en forma alguna a Telesforo. Este hecho marca su trayectoria para siempre y le encauza a adquirir los conocimientos que le permitan acometer sus propias investigaciones sin contar con nadie.



Fig. 1. Pozo de la familia Machado en la actualidad, situado junto al Barranco de San Felipe.

Dos años más tarde (1938), en plena Guerra Civil, es destinado al frente de Madrid y deja Canarias por primera vez.

Breve semblanza hidrográfica. 2ª época: Península y extranjero

Tras la Guerra Civil, de la que no solía hablar mucho, y de su época como maestro ya de vuelta en Canarias, en 1946, Telesforo marcha a Madrid a estudiar la carrera universitaria denominada en aquella época “Ciencias Naturales”, que incluía asignaturas de matemáticas, física, química, biología y geología. Tras la división de los estudios en las Licenciaturas de Biología y Geología, Telesforo opta por la segunda, aunque para él, ésto suponía una manera peor de interpretar la naturaleza (Fig. 2).



Fig. 2. Telesforo en Madrid en un frío invierno a finales de los años 40.

En esta época, entre otros ilustres profesores, se inicia su relación con Francisco Hernández-Pacheco, relación que duró toda su vida y que incluyó además a toda su familia. Francisco no sólo fue un amigo, sino que fue referente y consejero, animándolo a escribir la malograda Geografía

General de las Islas Canarias y posteriormente a elaborar y leer su tesis doctoral.

Telesforo acaba sus estudios en 1954, regresando entonces a Tenerife. En 1956 comienzan sus trabajos a la búsqueda del agua desplazándose de nuevo a la península contratado por el Ejército de los EEUU para abastecer de agua sus bases en España. Realiza así numerosos estudios hidrogeológicos en las cercanías de las bases norteamericanas (Cádiz, Reus, Sevilla, Albacete,...).

En 1957, y debido a su buen hacer, la empresa de ingeniería y arquitectura norteamericana “Amman & Whitney” le ofrece un contrato como geólogo para trabajar en el “Iran Road Project” (Fig. 3). Este proyecto, financiado por Estados Unidos, tenía como objetivo la mejora de la red de carreteras del país y obedecía al gran interés geoestratégico y económico que despertaba Persia (actual Irán).



Fig. 3. Telesforo observando un pozo en Irán.

Las funciones de Telesforo vienen perfectamente recogidas en un certificado de la citada empresa donde se dice:

“..Entre los principales objetivos asignados al Sr. Bravo figura la investigación hidrogeológica y la obtención de fuentes de agua para treinta bases creadas por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos a lo largo y ancho de Irán.

Para el Plan Organizativo de Irán, al Sr. Bravo le fue confiada la investigación geológica (investigación de suelos y fuentes agregadas) para la construcción de más de 600 km de carreteras y para 250 km adicionales en trabajo de reconocimiento preliminar....”.

En diciembre de 1959 deja Irán y acaba su relación con la empresa norteamericana, regresando a Madrid a leer su tesis doctoral.

El origen: “Los Qanats”

Tanto en sus trabajos en la Península Ibérica como en Irán, Telesforo conoce, profundiza y posteriormente usa un sistema de extracción de agua subterránea ampliamente extendido como es el “Qanat”.

Los “Qanats”, también denominados “ghanats”, “karez”, “foggaras”, “viajes de agua” o “galerías” surgieron entorno al 1.000 a.C. probablemente en la antigua Persia. Es una estructura, utilizada en zonas áridas, que aprovecha el agua subterránea de las colinas para irrigar o abastecer los llanos y ciudades próximos (Fig. 4).

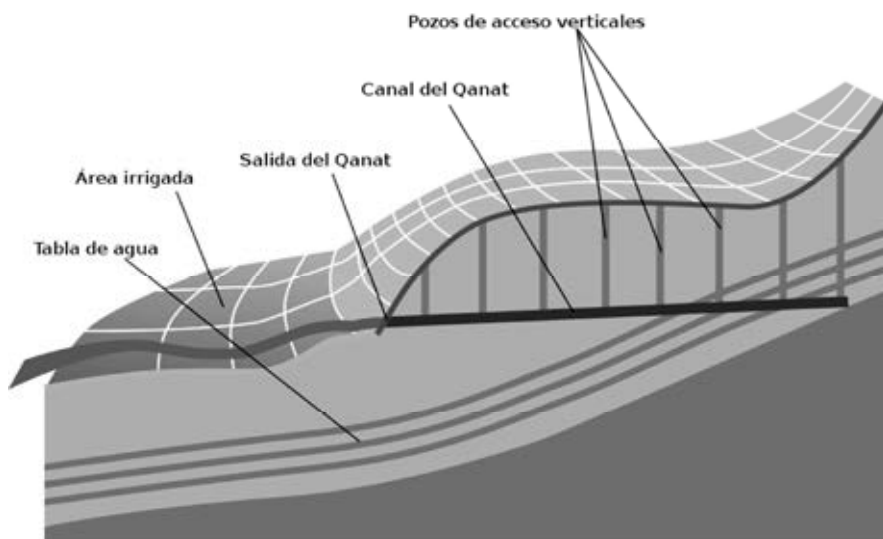


Fig. 4. Esquema de un “Qanat” en sección (adaptado de Wikipedia.org).

Para construir un “Qanat” primero se cava un pozo principal (o pozo madre) sobre una colina, hasta alcanzar un acuífero o similar, fuente de agua subterránea. Luego se construye un túnel casi horizontal desde el pie de la colina hasta la fuente de agua. Debe poseer una ligera pendiente, para permitir el descenso del agua, por un lado, y su control y racionamiento, por el otro. Cuanto más largo es el qanat, menor debe ser su pendiente.

Aparte del pozo madre, se cavan pozos secundarios que unen el túnel horizontal con la superficie. Su objetivo es proveer ventilación para su construcción y mantenimiento, así como vía de acceso para los trabajadores, y de salida para la tierra retirada (Fig. 5).

El agua desemboca generalmente en forma de cascada, y puede ser contenida por medio de represas y pequeñas lagunas artificiales. Desde allí, canales de riego llevan el agua hacia el área cultivable.

Debido a su, por lo general, carácter subterráneo, que previene la evaporación, el qanat es útil para transportar el agua a largas distancias, de hasta 70 km. Algunos tipos de qanat, que utilizan zanjas profundas en lugar de túneles, sólo se aplican para distancias más cortas.

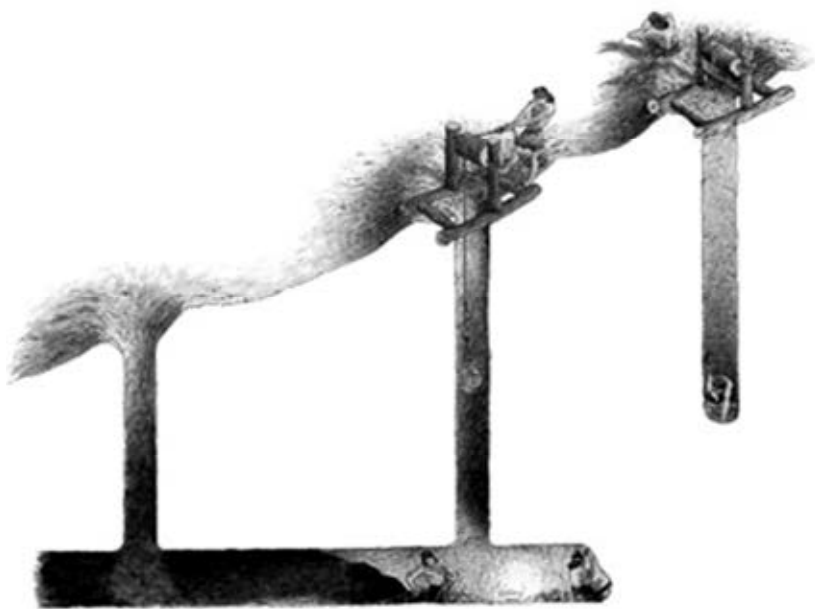


Fig. 5. Esquema de la excavación de un “Qanat” (adaptado de LaVerdadDigital).

Con la Ruta de la Seda la utilización del “Qanat” echó raíces en Asia Central, llegando finalmente a China. Bajo la dominación romana, se

llevaron a cabo amplios proyectos de construcción en Siria y Egipto; a su vez han sido hallados restos en áreas más alejadas, como Lyon o Luxemburgo en Europa. La conquista musulmana llevó al qanat a Sicilia y Andalucía, de donde pasó a la América Hispánica (Fig. 6).

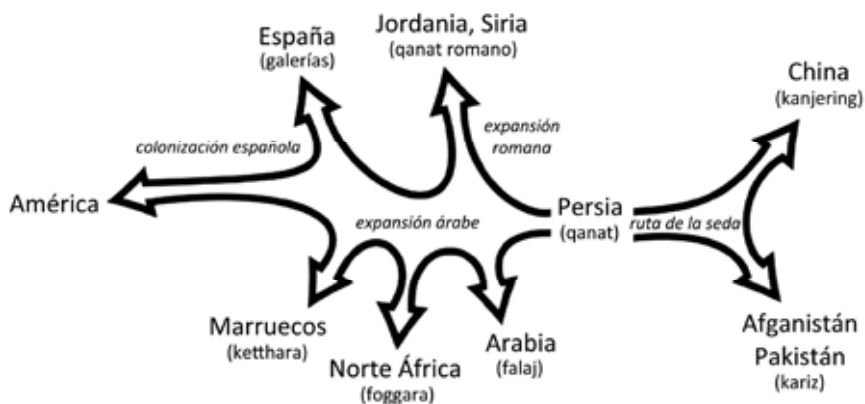


Fig. 6. Esquema de la difusión de los “Qanat” a lo largo de la historia.

En España los “qanats” se desarrollaron sobre todo en el sudoeste peninsular y Canarias, aunque también se pueden localizar en Castilla y León, Cataluña o Madrid (Fig. 7). Especial relevancia tienen los llamados “Viajes de Agua” que abastecían Madrid canalizando el agua de los manantiales de las Sierras de Ayllón y Guadarrama, así como de numerosos acuíferos cercanos a la capital.

Estos acueductos eran “qanats” de origen árabe construidos probablemente durante los siglos VIII al XI (fundación y dominación árabe de Madrid), y aparecen mencionados por primera vez en el Fuero de Madrid de 1202. Su efectividad quedó demostrada, ya que fueron el principal medio de suministro de agua a la ciudad, tanto para consumo humano, como para regadío y ornamento (fuentes), desde su fundación hasta la creación del Canal de Isabel II, en el siglo XIX. La red árabe original sufrió sucesivas ampliaciones para aumentar su capacidad, conforme Madrid fue aumentando su población.

Breve semblanza hidrográfica.

3ª época: Regreso a Canarias

Después de su trabajo en Irán y de leer su Tesis Doctoral en Madrid, Telesforo regresa a Canarias, donde en 1960 comienza a dar clases en la Universidad de La Laguna.



Fig. 7. Qanats en la Península Ibérica y Canarias. “Viajes de Agua” en Zamora (a) y Madrid (b). Galerías en el Monte Aguirre, Anaga, Tenerife (c, d).

Comienza también en este año su relación profesional y personal con el Heredamiento de Las Haciendas de Argual y Tazacorte, comunidad propietaria del agua que se alumbra en La Caldera de Taburiente en la isla de La Palma (Fig. 8). Esta relación continuaría hasta su muerte y continúa en la actualidad en manos de sus nietos.

En su trayectoria vital 1966 es un año especial. Por un lado, obtiene la Cátedra de Petrología y Geoquímica de la Universidad de La Laguna y por otro, se incorpora a ésta Juan Coello que, posteriormente, se convertiría en su yerno y en su más estrecho colaborador.

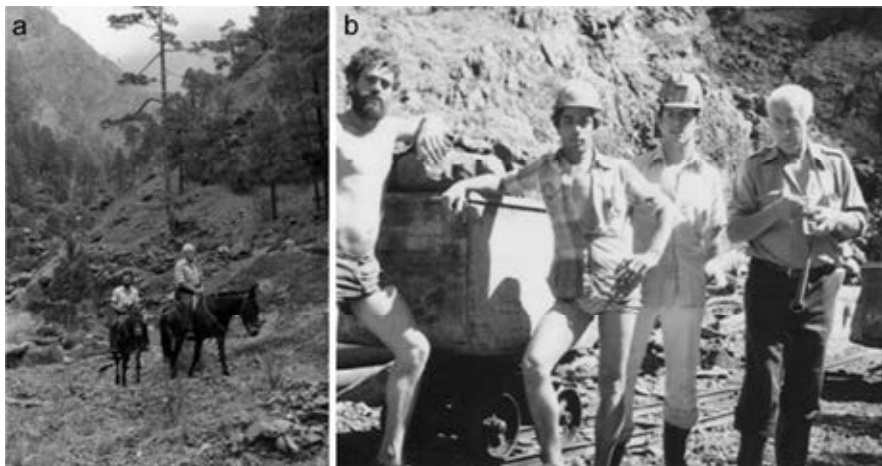


Fig. 8. Trabajos en La Caldera de Taburiente. (a) Telesforo y Juan Coello remontando el Barranco de Los Cantos de Turugumay. (b) Con trabajadores en la bocamina de la galería Altaguna (Fotografías del Heredamiento de Las Haciendas de Argual y Tazacorte).

En la década de los 70 y 80 realiza estudios hidrogeológicos en las regiones chilenas de Antofagasta y Atacama, y en la venezolana isla Margarita, así como numerosos viajes científicos y asistencias a congresos. Además, junto con Juan Coello, y hasta su muerte, asesoran a más de 600 Comunidades de Aguas de las siete islas y emiten más de 2.000 informes.

Al final de su vida llegan los numerosos reconocimientos, entre ellos el Premio Canarias de Investigación (1989), Premio César Manrique (2000) y el Premio Teide de Oro de Radio Club (2000) (Fig. 9).

Telesforo muere el 7 de enero de 2002, dos días después de cumplir los 89 años.

Principales contribuciones de Telesforo al mundo del agua

A. Asesoramiento a administraciones públicas e iniciativa privada.

Tanto Telesforo como Juan Coello, que en este campo trabaja junto a él en todo momento, contaban con una gran ventaja respecto a otros profesionales que también se dedicaban a estas labores: eran unos excelentes

hidrogeólogos. Además, y como es bien sabido, el trabajo de campo era un aspecto fundamental en su manera de ver este mundo y ocupaba gran parte de su tiempo y esfuerzos. Esta es la clave de su éxito.



Fig. 9. Telesforo con su familia (falta su mujer, Asunción) en la entrega del Teide de Oro (2000).

Con la integración del trabajo de gabinete (cartografía, fotografía aérea, informes previos,...) y el trabajo de campo consiguen tener un conocimiento exhaustivo del entorno y les hace abordar la resolución de los problemas de una manera integral (Figs 10, 11). Esto les permite dar soluciones, la mayoría de las veces correctas, a los requerimientos de sus clientes.

Como ejemplo de los trabajos que Telesforo y Juan desarrollan, vamos a utilizar la relación que mantuvieron con una de las más importantes comunidades de Aguas de Canarias, el Heredamiento de Las Haciendas de Argual y Tzacorte.

Esta institución, creada en 1557 por los herederos de Jácome de Monteverde, último propietario unipersonal de la Caldera de Taburiente, cuenta en la actualidad con más de 2.000 hacendados. Es la propietaria de la finca de La Caldera de Taburiente, así como, de las aguas subterráneas y las que discurren por su superficie. Su fin fundamental es la captación, conducción, administración, distribución y defensa de sus aguas (Fig. 12).



Fig. 10. Representación esquemática del método de trabajo que empleaban Telesforo Bravo y Juan Coello.

Telesforo inicia su relación con Las Haciendas en 1960, recién llegado de Irán, redactando un informe hidrogeológico ante la progresiva merma de caudal de los nacientes de La Caldera. Entre las recomendaciones de este informe hay dos que resultan especialmente destacables:

- En primer lugar recomienda la perforación de siete galerías en distintos sectores de las paredes Oeste y Norte de La Caldera. Al contrario de lo que algunos sostienen, con esto consiguió Telesforo que siguiera corriendo agua por los Barrancos de La Caldera. La explicación es sencilla, la merma de los nacientes venía provocada por la existencia de gran cantidad de explotaciones que se habían perforado en las laderas exteriores hacia el interior y que explotaban los acuíferos que nutrían estos manantiales. Con las galerías, aunque se perdían algunos nacientes, no se perdía su caudal, que seguía fluyendo como siempre lo había hecho.
- Por otro lado, Telesforo introdujo un concepto que posteriormente se ha rebelado muy útil para regular el exceso de caudal alumbrado: el cierre artificial de las galerías. Este sistema, que embalsa el agua tras un muro o cierre y que permite regular la cantidad de agua que sale por la bocamina, se ha incorporado como recomendación en varios Planes Hidrológicos Insulares y es una solución relativamente asequible para aquellas comunidades que, por ejemplo en invierno, son excedentarias de agua.

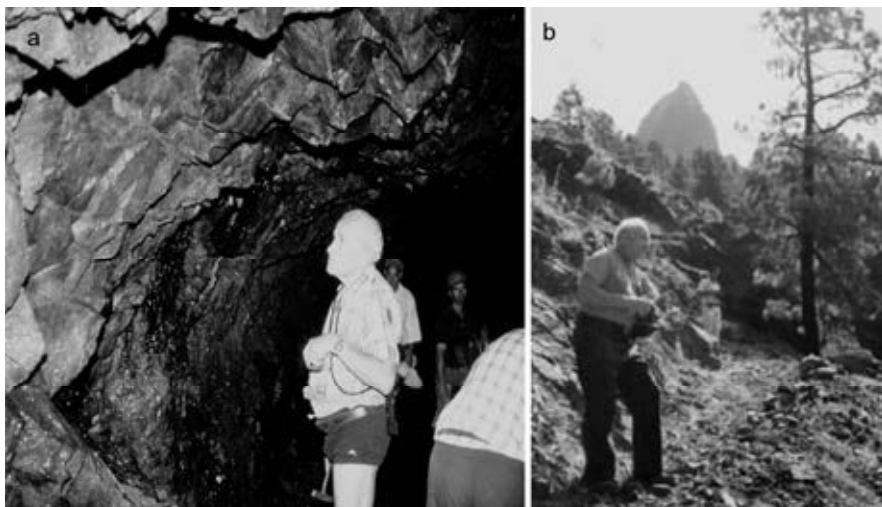


Fig. 11. Telesforo en la Galería La Puente, en La Orotava (a), y acompañado de Juan Coello en La Caldera de Taburiente (b).



Fig. 12. Bocamina de la galería Verduras de Alfonso, La Caldera de Taburiente (Febrero 2013).

Posteriormente, en 1961, Telesforo elabora la primera Cartografía Geológica de La Caldera. Pero es en 1970, tras largos años de litigios, cuando se comienzan a perforar las galerías marcadas. Telesforo y Juan

emiten informes de cada una de las explotaciones, indicando rumbos y longitudes a perforar, necesidad o no de ramales, así como caudales esperados y calidad de las aguas.

Otros aspectos en los que trabajan ambos geólogos es el estudio de los emplazamientos de los citados cierres hidráulicos, construyéndose el primero de ellos en 1979. También asesoran a Las Haciendas en los frecuentes litigios que se daban entre Comunidades o entre estas y las administraciones públicas. De gran importancia fueron los informes emitidos para definir la afectación de los trabajos en diversas galerías del T.M. de Garafía sobre las galerías del Barranco de Los Cantos, o el informe en que rebaten otro del geólogo José Manuel Navarro sobre la merma del caudal de la Galería “Tenerra”, provocado por los trabajos en la Galería “Risco Liso”.

Por último, además de los trabajos hidrogeológicos, elaboran numerosos informes geológicos-geotécnicos sobre las principales infraestructuras hidráulicas de Las Haciendas, entre ellas el Tomadero de Dos Aguas y el canal Dos Aguas-Los Barros.

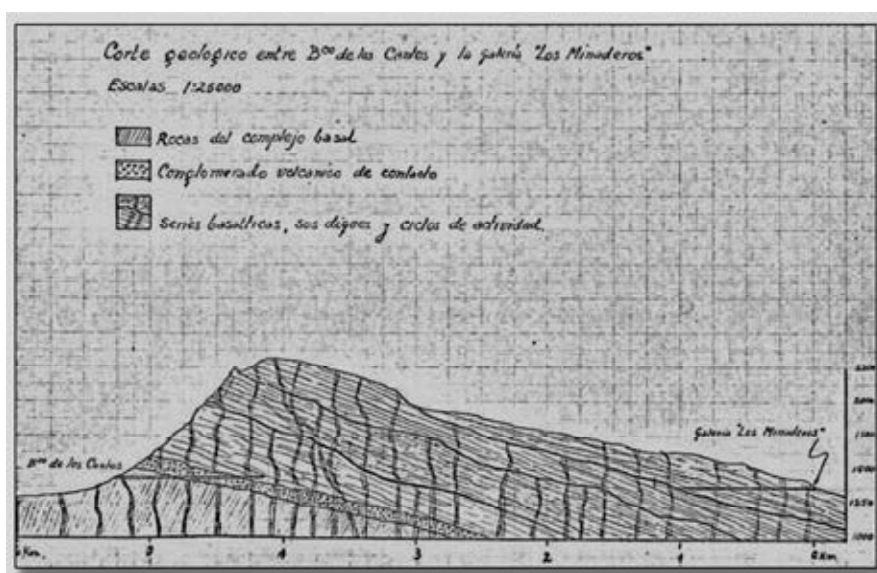


Fig. 13. Corte geológico de la pared Norte de La Caldera, original de la Cartografía Geológica de La Caldera.

B. Racionalidad en la explotación y gestión del agua

A continuación presentaremos lo que Telesforo defiende, con sus propias palabras, sobre varios aspectos relacionados con la explotación y gestión del agua en Canarias. Sus palabras demuestran que ya desde los años 50

avisó sobre los problemas que la falta de racionalidad y la no implicación de las administraciones públicas podían causar.

- Conferencia “Aspectos geológicos y biológicos del futuro próximo de Tenerife”, Circulo Mercantil S/C Tenerife (1952):

“...Dentro de cincuenta años el subsuelo de nuestra isla estará materialmente acribillado de galerías, los depósitos geológicos se habrán agotado y sólo quedará como fuente de suministro la cantidad que representa su régimen de alimentación (natural).”

“...En estos momentos estamos haciendo esfuerzos para el mayor aprovechamiento de nuestras reservas hidráulicas, pero vamos llegando al límite. Los déficits de unos caudales son compensados por los alumbramientos de otros, aunque este estado de cosas no puede durar mucho tiempo más y, cuando transcurran 30 o 40 años la mayor parte de las galerías serán deficitarias con relación al primitivo caudal alumbrado.”

Sobre la desalación: “...es verdad que ésto se podrá llevar a la práctica dentro de algún tiempo, pero en Tenerife la energía para mover estas instalaciones produciría un estado económico desastroso. Ya hoy resulta antieconómica la explotación de los pozos, y con sólo ese dato podemos sentar que la desalación supone un tremendo gasto, pues primero tendríamos que hacer la transformación y luego elevar las aguas a niveles superiores a 250 m.”

- Separata “La explotación de las aguas subterráneas y sus modalidades”, Estudios de Derecho Administrativo Especial Canario, Vol. III, Cabildo de Tenerife (1969):

“...La labor de confeccionar una carta hidrogeológica oficial es ingente, pero perfectamente factible. Disponemos en las islas de tantas galerías y pozos que ya se hace difícil encontrar emplazamiento para nuevas obras en grandes sectores... La densidad de explotaciones en algunas zonas es tanta, que cada pozo o galería se siente <enemigo> de las obras contiguas, se vigilan mutuamente y se atacan con diferentes medios...”

“...En este complicado proceso nadie se acuerda que los subsuelos tienen un límite de agua explotable y que este límite, en algunas zonas, está ampliamente rebasado, o tan desordenadamente explotado que se precisa la reorganización. Esto

no debe efectuarse sino a base de fusiones de comunidades que estén ubicadas en las zonas afectadas.”

- Anotaciones para una conferencia (1970):

“...los organismos estatales del ramo no están capacitados para hacer planes de conjunto, pudiendo calificarlos de organismos disciplinarios pero no planificadores. Tampoco existen organismos regionales, provinciales o insulares capacitados para efectuar la investigación correspondiente de la manera de estar en el subsuelo de las aguas subterráneas y cuales son los defectos de las formas de explotación actual...”

Como sabemos, no fue hasta 1990 cuando se aprueba la ley 12/1990, de 26 de julio, de aguas de canarias. Dos años después, mediante el decreto 115/1992, son aprobados los estatutos del Consejo Insular de Aguas de Tenerife.

C. Gases

Antes de citar las aportaciones de Telesforo y Juan en este campo, conviene clarificar una serie de conceptos respecto al tipo de gases que nos encontramos en las instalaciones subterráneas y su comportamiento, así como su influencia en trabajadores y visitantes.

El aire atmosférico está compuesto habitualmente por un 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno, 0,9% de argón, 0,2% de dióxido de carbono y otros componentes en menor proporción. En cambio, en el interior de las galerías y pozos, esta composición se encuentra alterada por una serie de factores como oxidaciones de minerales, emanaciones de gases, gases procedentes del agua alumbrada, respiración humana, elevación del nivel de humedad, etc.

El principal gas asfixiante que podemos encontrar es el CO₂ (dióxido de carbono). Este gas es incoloro, soluble en agua e incombustible y, al ser más pesado que el aire, tiende a acumularse en las partes bajas de las labores. Es el principal causante, junto con la falta de oxígeno, de accidentes en galerías.

Otros gases peligrosos presentes son:

- Monóxido de Carbono (CO), producido únicamente por la combustión incompleta del carbono en voladuras y/o motores de explosión. Es altamente tóxico.
- Sulfuro de hidrógeno (SH₂), gas incoloro muy tóxico. Tiene sabor azucarado y olor a huevos podridos. Pesa más que el aire, y en concentraciones por encima del 4%, es explosivo.

- Grisú (CH_4), es una mezcla de metano y aire, incolora, inodora e insípida que, dependiendo de su porcentaje puede arder, ser explosiva o asfixiante. Aunque en Canarias es muy poco frecuente y de origen desconocido, si hay documentadas importantes emanaciones, incluso con deflagraciones, en galerías de San Miguel y Arico.

Es también habitual y extremadamente peligrosa la falta de oxígeno (O_2) en el interior de las galerías. Este fenómeno, que ha causado también gran cantidad de accidentes, no siempre está relacionado directamente con el desplazamiento por aumento de la concentración de CO_2 .

A continuación explicaré cómo es el régimen de funcionamiento del medioambiente de las galerías y cómo se comportan en función de las condiciones atmosféricas.

En la figura 14 se representa el régimen “óptimo” de una galería tipo. En este caso, el gradiente de presiones habitual en la atmósfera (presión más baja cuanto más alto estamos) hace que se produzca una circulación de aire que ventila las posibles emanaciones de gases peligrosos. Hacer notar que es necesario que exista una capa porosa lo suficientemente potente para que se produzca la circulación. Como es fácilmente entendible, este régimen se ve modificado por la influencia de numerosos factores (cambio de tiempo, régimen de vientos, actividad volcánica, etc.) que hacen que una instalación que no sea normalmente peligrosa pueda llegar a serlo.

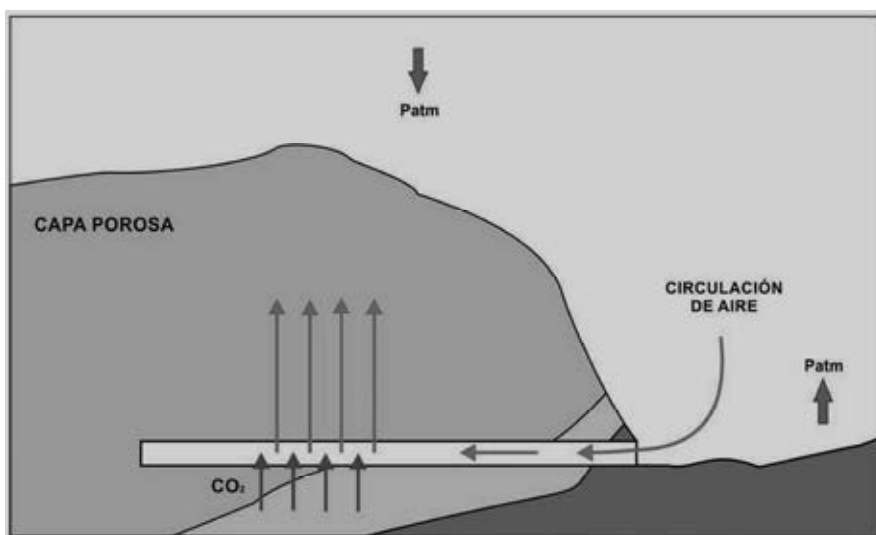


Fig. 14. Representación esquemática del comportamiento “óptimo” de una galería.

Sobre el comportamiento de los gases en una galería tienen gran influencia la temperatura, y como hemos visto, la presión atmosférica.

• Influencia de la temperatura

Las variaciones de temperatura pueden ser diarias o estacionales. Existe una variación diaria sencilla y de carácter periódico en la temperatura. El máximo diario se produce entorno a las 14 h solares y el mínimo entorno a las 6 h. Cuando la temperatura exterior es superior a la de la galería, el aire interior tiende a salir de ésta facilitando el ascenso de los gases. Al contrario, cuando el aire de la galería es más caliente que el exterior, el aire penetra en el subsuelo bajando la concentración de gases tóxicos.

La variación estacional causa el mismo efecto. En invierno, el aire frío y más denso penetra en los niveles superficiales diluyendo la concentración de los gases. En las galerías, este proceso afectará a la totalidad de la traza. En verano, cuando la temperatura exterior iguale o supere la interior, el flujo convectivo frío es nulo, permitiendo llegar a la superficie (o traza de la galería) el flujo de gases sin diluir.

• Influencia de la presión

La atmósfera interior de las galerías varía también por las fluctuaciones de la presión atmosférica. Las variaciones diarias se conocen como marea barométrica, y tiene una amplitud muy pequeña (del orden de 1 milibar). Consiste en una doble oscilación en 24 horas, con mínimos a las 4 de la mañana y de la tarde y máximos a las 10 de la mañana y de la noche (horas solares) (Fig. 15).

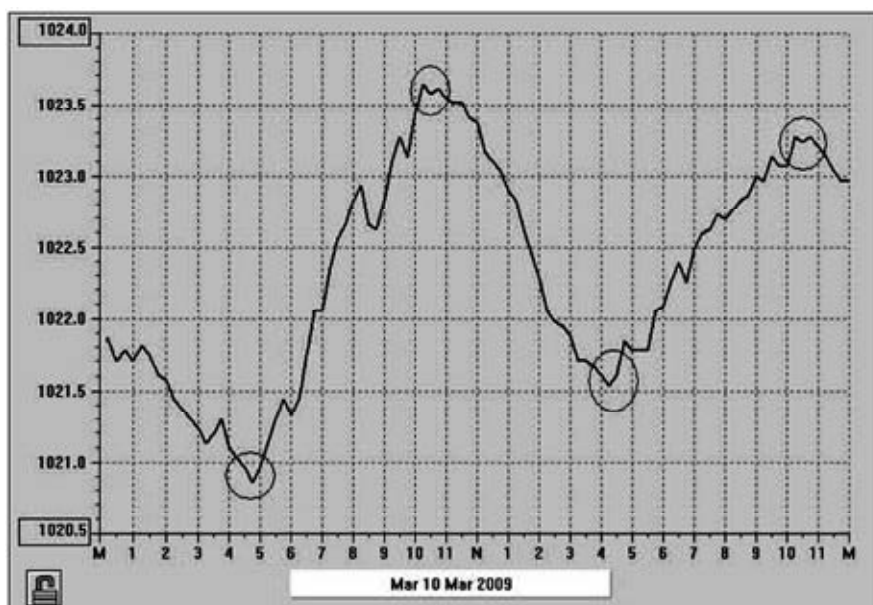


Fig. 15. Ejemplo de marea barométrica en el interior de una galería (10.03.2009).

Cuando la presión atmosférica baja, los gases tienden a salir del terreno, lo que implica unas peores condiciones ambientales. Sin embargo, esta variación suele verse enmascarada por otras variaciones mayores debidas a la proximidad de áreas de altas o bajas presiones.

Teniendo en cuenta la influencia de ambas variaciones, queda claro que las peores condiciones se darán entre las 14-16 horas, ya que coincide la temperatura más alta con la presión más baja.

Se indican a continuación y a título informativo los valores límites de concentración de los gases más habituales en labores mineras (ITC: 04.7.02):

Gas	Valor admisible jornada laboral de 8 horas	Valor admisible 15 minutos
CO ₂	5.000 p.p.m./0,5% vol.	12.500 p.p.m./1,25 % vol
CO	50 p.p.m.	100 p.p.m.

Se recomienda además una proporción de oxígeno nunca inferior al 19%, así como una temperatura no superior a 30 °C y una humedad no mayor del 70%.

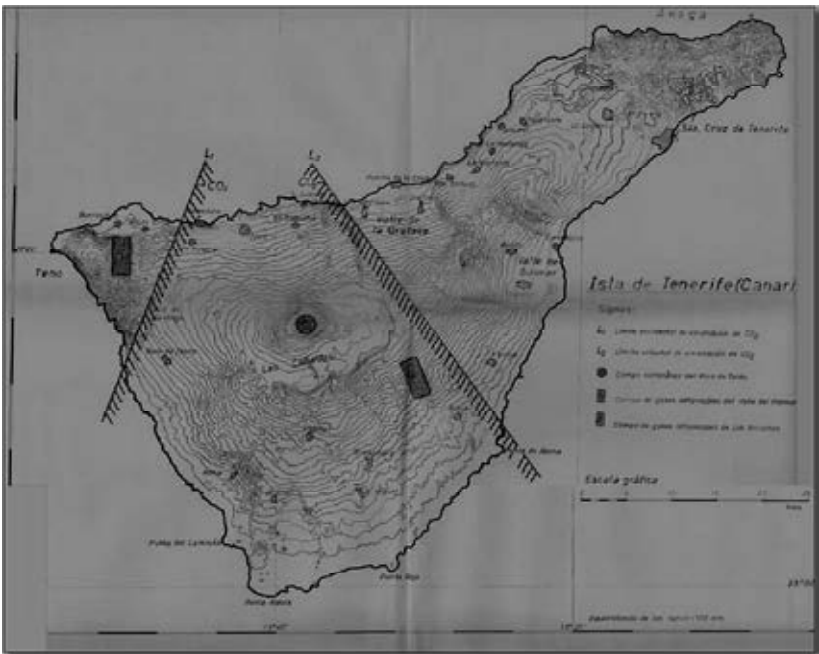


Fig. 16. Presencia de CO₂ y gases inflamables en Tenerife (T.Bravo, J.Coello, J. Bravo, 1976).

Principales contribuciones de Telesforo Bravo en materia del estudio de los gases

Podemos decir que Telesforo fue el primer científico que estudió en profundidad y alertó sobre la presencia de emanaciones gaseosas y anomalías térmicas en las instalaciones subterráneas de las islas.

- (1968): “*El problema del agua subterránea en Canarias*”. *Aula de Cultura del Cabildo Insular de Tenerife*. Cita por primera vez la falta de oxígeno y su peligrosidad, que ya ha provocado numerosas muertes por asfixia, y la presencia de gases explosivos. Aplica el concepto de marea barométrica a sus observaciones.
- (1976): “*Áreas de emanaciones gaseosas y anomalías térmicas en la provincia de S/C de Tenerife*”. *II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Barcelona*. Junto con Juan Coello y Jesús Bravo explica la influencia de las variaciones de temperatura en la presencia de gases (Fig. 16).
- (1979): “*El oxígeno disuelto en aguas subterránea de Canarias*”. *Universidad de La Laguna*. Junto con Juan Coello demuestra el mecanismo de desoxigenación de ciertas aguas alumbradas y su efecto sobre el medio ambiente de las galerías.

Conclusión

Más que enumerar la ingente cantidad de informes, artículos, notas y dibujos sobre hidrología e hidrogeología que Telesforo produjo a lo largo de su vida, se ha intentado en este artículo mostrar las principales aportaciones que nos legó y que han contribuido de forma fundamental a la búsqueda del agua en Canarias. Probablemente, sin sus aportaciones, esta hubiera resultado más dura y costosa de lo que, por desgracia, ha sido.

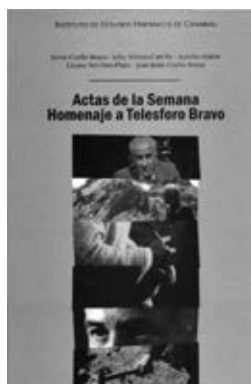
Bibliografía

- BRAVO, T. & J. COELLO (1960-2002). Archivo personal. Puerto de La Cruz.
- COELLO BRAVO, J. (2007). *Biografías de Científicos Canarios. Telesforo Bravo Expósito*. Oficina de Ciencia, Tecnología e Innovación, Gobierno de Canarias. 199 pp.
- COELLO BRAVO, J.J. (2006). Cuando las islas se derrumban: Telesforo Bravo y la teoría de los deslizamientos gravitacionales En J. Afonso-Carrillo (Ed.), *Actas de la Semana Homenaje a Telesforo Bravo*. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, pp. 131-147.
- LUIS BRITO, E. (2009). Los recursos hídricos de La Caldera de Taburiente. En J. Afonso-Carrillo (Ed.), *Misterios de la Gea: Descifrando los enigmas ocultos en rocas, gases, agua y fuego*. Actas IV Semana Científica

- Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, pp. 41-70.
- MORALES GONZÁLEZ-MORO, A. (Coord.) (2011). *Manual técnico para la ejecución de galerías*. Dirección General de Industria, Gobierno de Canarias. 135 pp.
- PINTO CRESPO, V., R. GILI RUIZ & F. VELASCO MEDINA (2010). *Los Viajes de Agua de Madrid durante el antiguo régimen*. Fundacion del Canal de Isabel II. Madrid. 175 pp.
- www.waterhistory.org. *Qanats*.

INSTITUTO DE ESTUDIOS HISPÁNICOS DE CANARIAS

Títulos previos de la colección 'Actas Semana Científica Telesforo Bravo'



Actas de la Semana Homenaje a Telesforo Bravo

(2006) – 147 pp.

[ISBN 84-611-0482-X]

Jaime Coello Bravo - El hombre que hablaba con las piedras. Una visión de la vida de Telesforo Bravo.

Julio Afonso-Carrillo - Amenazas a la diversidad de plantas marinas por el desarrollo urbano en el litoral: el ejemplo de Puerto de la Cruz.

Aurelio Martín - Aportaciones de D. Telesforo Bravo al conocimiento de la fauna de vertebrados terrestres de las islas Canarias.

Lázaro Sánchez-Pinto - Don Telesforo y la Macaronesia.

Juan Jesús Coello Bravo - Telesforo Bravo y la teoría de los deslizamientos gravitacionales.



Reflexiones sobre una naturaleza en constante evolución (2007) – 155 pp.

[ISBN 978-84-61189-571]

Luis Espinosa García - Recordando a Telesforo Bravo.

Joaquín Araujo - ¿Es compatible turismo y medio ambiente?

Octavio Rodríguez Delgado - El paisaje vegetal de Las Cañadas: su transformación por la intervención humana.

Guillermo Delgado - Colonización y evolución de vertebrados canarios: reptiles, aves y mamíferos.

Eustaquio Villalba - Evolución del conocimiento geológico de Tenerife.



Naturaleza amenazada por los cambios en el clima (2008) – 147 pp.

[ISBN 978-84-61264-568]

Emilio González Reimers - Paleodieta y paleonutrición.

Antonio Machado Carrillo - Estudiando a los chascones, récord de biodiversidad en Canarias.

Marta Sansón - Arrecifes y manglares: ecosistemas en la frontera entre la tierra y el mar.

Marcelino del Arco Aguilar - La flora y la vegetación canaria ante el cambio climático actual.

Alberto Brito - Influencia del calentamiento global sobre la biodiversidad marina de las islas Canarias.



Misterios de la Gea: Descifrando los enigmas ocultos en rocas, gases, agua y fuego (2009) – 172 pp.
[ISBN 978-84-613-4817-6]

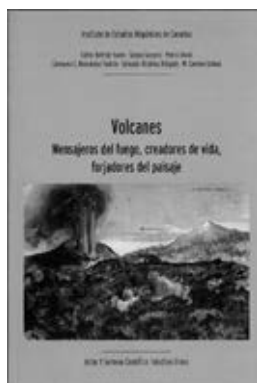
Francisco Anguita - Marte y la Tierra: historia de dos planetas.

Edelmira Luis Brito - Los recursos hídricos de La Caldera de Taburiente.

Antonio Eff-Darwich - Tenerife bajo las leyes de la física.

Esther Martín González - El legado paleontológico de nuestras islas: un patrimonio a conservar.

Nemesio M. Pérez - Emisiones difusas, dispersas y silenciosas de dióxido de carbono en los volcanes.



Volcanes: Mensajeros del fuego, creadores de vida, forjadores del paisaje (2010) – 156 pp.
[ISBN 978-84-614-3579-1]

Esther Beltrán Yanes - Conviviendo con volcanes en el Valle de Santiago: el paisaje de la comarca de Santiago del Teide antes de la erupción del Chinyero en 1909.

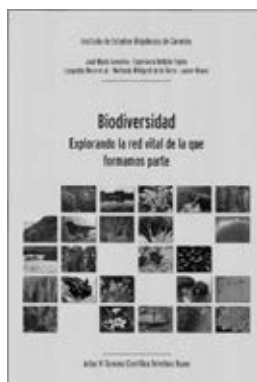
Segio Socorro - Cavidades volcánicas de Canarias. Tipos y génesis.

Pedro Oromí - La fauna subterránea de Canarias: un viaje desde las lavas hasta las cuevas.

Consuelo E. Hernández Padrón - El desconocido y sorprendente mundo de los líquenes que pueblan las lavas.

Salvador Ordóñez Delgado - Estudio de la erupción del Chinyero por Lucas Fernández Navarro, una investigación vulcanológica pionera.

M. Carmen Solana - Peligros asociados a las erupciones de Tenerife, su impacto y reducción en caso de erupción futura.



Biodiversidad: Explorando la red vital de la que formamos parte (2011) – 190 pp.
[ISBN 978-84-615-3089-2]

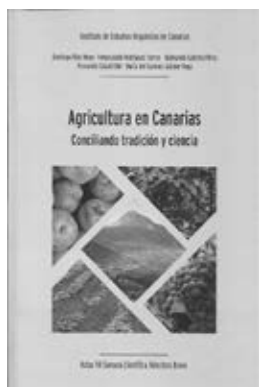
José María Landeira - Plancton: un universo marino diverso y desconocido.

Esperanza Beltrán Tejera - Los hongos: notables protagonistas en la biodiversidad canaria.

Leopoldo Moro, Juan José Bacallado y Jesús Ortea - Babosas marinas de las islas Canarias.

Wolfredo Wildpret de la Torre - Reflexiones sobre la biodiversidad canaria en el año internacional de la biodiversidad.

Javier Reyes - Sebadales: explosión de biodiversidad en desiertos de arena submarinos.



Agricultura en Canarias: Conciliando tradición y ciencia (2012) – 174 pp.

[ISBN 978-84-616-0641-2]

Domingo Ríos Mesa – Las papas antiguas de Canarias: origen y diversidad.

Inmaculada Rodríguez Torres – Patrimonio vitícola de Canarias.

Raimundo Cabrera Pérez – Control de plagas agrícolas: una historia de ida y vuelta.

Fernando Sabaté Bel – Recuerdos del futuro: la experiencia vernácula y la sostenibilidad.

María del Carmen Jaizme-Vega – La vida en el suelo. Papel de los microorganismos en la agroecología.



El Hierro: Nacimiento de un volcán (2013) – 179 pp.

[ISBN 978-84-616-5651-6]

Pedro Luis Pérez de Paz – El Hierro: volcán de naturaleza y melancolía.

Carlos Sangil – Cambios en la biodiversidad vegetal submarina del Mar de Las Calmas tras la erupción volcánica de La Restinga: una oportunidad para profundizar en el conocimiento de los ecosistemas marinos de Canarias.

Natacha Aguilar Soto, Mark Jonson, Patricia Arranz, Alejandro Escáñez, Cristina Reyes, Agustina Schiavi, Meter Madsen y Alberto Brito – Volcanes, zifios y otros valores naturales de las aguas profundas de El Hierro.

José Carlos Hernández y Sabrina Clemente – Reservas marinas, cambio climático y catástrofes naturales: el caso del Mar de Las Calmas en la isla de El Hierro.

Pedro A. Hernández – La erupción volcánica de El Hierro: la importancia de vigilar los volcanes.

INSTITUTO DE ESTUDIOS HISPÁNICOS DE CANARIAS



FUNDACIÓN
MAPFRE
GUANARTEME