

PROPUESTA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL PARA UN ENCLAVE LIBRE DE HIELO DE LA ANTÁRTIDA MARÍTIMA (PUNTA ELEFANTE, ISLA LIVINGSTON)

PROPOSAL OF ENVIRONMENTAL PROTECTION FOR AN ICE-FREE AREA IN THE MARITIME ANTARCTIC (ELEPHANT POINT, LIVINGSTON ISLAND)

Marc Oliva¹, Jesús Ruiz-Fernández², Andrés Zarankin³, María Angélica Casanova-Katny⁴, Jordi Nofre⁵

Recepción: 09/10/2016 · Aceptación: 17/05/2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.5944/etfvi.10.2017.19058>

Resumen

Las áreas libres de hielo de la Antártida Marítima son espacios de elevada biodiversidad y riqueza de formas y procesos geomorfológicos. En este trabajo se analiza la geomorfología, geoecología y los vestigios arqueológicos dejados por los primeros colonizadores antárticos en una de estas áreas, Punta Elefante (isla Livingston). Esta área libre de hielo de 1,16 km² cuenta con un 17% de superficie deglaciada entre 1956-2010. Mediante un enfoque geoecológico se constata una clara imbricación entre las unidades geomorfológicas y la distribución de su fauna y flora. Además, se identificaron 5 sitios arqueológicos que corresponden a los cazadores de focas que explotaron los recursos naturales de la Península Antártica durante los siglos XVIII-XIX. Debido a la riqueza de su patrimonio natural y la singularidad de su registro arqueológico, se propone la designación de Punta Elefante como Área Antártica de Especial Protección con el objetivo de preservar estos valores para las generaciones futuras.

Palabras clave

Punta Elefante; Área Antártica de Especial Protección; geomorfología; geoecología; sitios arqueológicos.

-
1. Centro de Estudos Geográficos – IGOT, Universidade de Lisboa, Portugal; <oliva_marc@yahoo.com>.
 2. Departamento de Geografía, Universidad de Oviedo; <ruizjesus@uniovi.es>.
 3. Departamento de Antropología y Arqueología, Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil; <zarankin@yahoo.com>.
 4. Department of Microbiology, University of Concepción, Chile; <angecasanova@udec.cl>.
 5. Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais (CICSNOVA), Universidade Nova de Lisboa, Portugal; <jnofre@fcsh.unl.pt>.

Abstract

Ice-free areas in the Maritime Antarctica are environments showing a high degree of biodiversity and a wide range of geomorphological processes and landforms. In this paper we analyze the geomorphology, geoecology as well as the archaeological evidences left by the first Antarctic settlers in Elephant Point (Livingston Island). This ice-free area extends over 1.16 km², with 17% of its surface deglaciated between 1956 and 2010. Using a geocological approach a clear linkage has been inferred between the geomorphological units and the distribution of the fauna and flora. Besides, five archaeological sites have been found in this peninsula corresponding to the first sealers who exploited the natural resources of the Antarctic Peninsula during the XVIII-XIX. Considering the unique natural heritage and the singularity of its archaeological remains, we propose the designation of Elephant Point as an Antarctic Special Protected Area with the purpose of preserving this environment for future generations.

Keywords

Elephant Point; Antarctic Special Protected Area; geomorphology; geoecology; archaeological sites.

.....

1. INTRODUCCIÓN

La Antártida es la región de la Tierra que goza de la mayor protección ambiental a escala continental gracias al Tratado Antártico, firmado en 1959 y que entró en vigor a partir de 1961. Este tratado detalla todas y cada una de las actividades humanas que pueden ser llevadas a cabo en todo su espacio marítimo-terrestre. Se trata de actividades que se engloban, casi en su totalidad, en el ámbito de la investigación. Sin embargo, la firma del Tratado Antártico cabe englobarla en uno de los momentos más álgidos de la Guerra Fría. De ahí que el tratado también recoja varios puntos concernientes al cumplimiento de los acuerdos recogidos en el ámbito del elevado interés geopolítico que ambos bloques, el occidental y el soviético, mostraban sobre la región antártica y muy especialmente sobre los derechos de posesión y gestión de recursos naturales aún por explotar.

Cabe señalar que, además de la protección ambiental que el Tratado otorga a las tierras emplazadas al sur del paralelo 60°S, ciertos enclaves cuentan con una especial protección que toma forma bajo tres figuras designadas por el Secretariado del Tratado Antártico:

- a) *Áreas Antárticas de Especial Protección* (ASP, en inglés), las cuales constituyen aquellos enclaves que presentan unos valores medioambientales destacados, de interés científico, histórico, estético o silvestre. Engloban un total de 75 áreas, incluyendo superficies comprendidas entre 0,03 y 915,9 km².
- b) *Áreas Antárticas de Especial Gestión* (ASMA, en inglés). Se trata de un total de siete áreas en donde se permite la instalación de bases logísticas de los diferentes países que realizan actividades de apoyo y asistencia al personal involucrado en actividades científicas, la mejora de la cooperación internacional en el ámbito de la gestión de la Antártida y las iniciativas que contribuyan tanto a evitar hipotéticos incumplimientos de los acuerdos geopolíticos recogidos en el Tratado Antártico, como a minimizar los impactos medioambientales en tales áreas. El tamaño de los sectores incluidos en esta figura de protección oscila entre 158,6 y 26.286 km².
- c) *Lugares Históricos o Monumentos* (HSM, en inglés). Hasta 2013 se habían designado un total de 90 lugares de interés histórico.

La protección de las actuales Áreas Antárticas de Especial Protección (ASP) se remonta a los últimos años de la década de 1960 y tenía como objetivo preservar el elevado valor científico de algunos de sus ambientes marítimo-terrestres. Actualmente, la mayor parte de las áreas ASP se localizan en el escaso 0,4% de superficie antártica libre de hielo glaciario permanente. El acceso a las áreas ASP, así como el desarrollo de las actividades que pueden ser llevadas a cabo, viene definido por los respectivos planes de gestión descritos para cada una de las áreas, siempre bajo el paraguas del Tratado Antártico.

La ecología y el paisaje de las áreas ASP constituyen elementos clave para su definición y delimitación geográfica (Hughes y Convey, 2010). Sin embargo, sus

respectivos planes de gestión tan sólo han tenido en cuenta la simple descripción de los valores científicos que en ellas se encuentran (fauna, flora y geología), sin incluir las múltiples y diversas interacciones de gran interés científico identificadas a partir de una aproximación dinámica e integradora. Así, el enfoque geoecológico permite analizar los elementos bióticos y abióticos que caracterizan las dinámicas ambientales (Troll, 1968, 1972), aunque tal metodología analítica ha sido escasamente utilizada en contextos polares (Troll, 1973; Ives y Barry, 1974; Mora *et al.*, 2015).

Recientemente, la protección medioambiental en la Antártida ha sido objeto de una mayor atención como consecuencia de la creciente actividad científica –en cuanto al número y tipología de estudios se refiere– que algunas áreas específicas han registrado a lo largo de estos últimos años. A ello, cabría añadirle el fuerte incremento de la presión turística en determinados parajes de la Antártida Marítima (Enzenbacher, 2007; Convey *et al.*, 2012; Hughes *et al.*, 2013; Verbitsky, 2013). Esto ha llevado a la comunidad científica a solicitar una mayor protección de las diferentes bioregiones que componen el continente (Terauds *et al.*, 2012). En este sentido, algunos estudios recientemente publicados han presentado una evaluación científica tanto de los diferentes intereses (nacionales) científicos presentes en determinadas áreas ASPA como de la gestión medioambiental llevada a cabo desde la creación de tales áreas (Benayas *et al.*, 2013). La mayor parte de aquellas áreas pertenecientes a la Antártida Marítima que se encuentran bajo algún tipo de protección medioambiental (ej. ASPA) se hallan localizadas en zonas que ofrecen condiciones topográficas y de accesibilidad favorables a la instalación de infraestructuras y equipamientos de apoyo logístico, es decir, cerca de bases científicas y refugios.

El sesgo geopolítico que en parte caracterizó la firma del Tratado Antártico conllevó la aparición de algunas «lagunas» en relación a la protección medioambiental de áreas determinadas que, a pesar del muy remarcable patrimonio geoecológico que presentan, no forman parte –hasta la fecha– del conjunto de intereses científicos que ha caracterizado la investigación antártica desde sus inicios. Aparte de los motivos geopolíticos aducidos anteriormente, ello se debería también a la ciertamente difícil accesibilidad de algunas de las áreas de especial interés geoecológico, lo que impide un despliegue logístico apropiado para su exploración científica.

En 1966, Reino Unido y Chile propusieron la protección del extremo occidental de la isla Livingston, la península Byers, allanando, de esta forma, el camino para la actual figura legislativa que regula su protección medioambiental. Esta ASPA ocupa aproximadamente unos 60 km² y constituye el territorio libre de hielo más extenso de las Islas Shetland del Sur (ISS). Su catalogación como área ASPA número 126 responde a que la península Byers presenta una gran biodiversidad, altamente representativa de la Antártida Marítima (Toro *et al.*, 2007; Quesada *et al.*, 2013). Sin embargo, alrededor de la península Byers existen numerosos sectores libres de hielo de reducidas dimensiones en los cuales se concentran una amplia variedad de formas y procesos geomorfológicos, flora y fauna, que no se encuentran actualmente sujetos a ninguna figura de protección medioambiental.

Este es el caso de Punta Elefante, una recóndita zona deglaciada situada a 3 km del extremo suroriental de la península Byers que, pese a presentar un excepcional interés geomorfológico, biológico e histórico-paisajístico, no cuenta a día de

hoy con ningún grado de protección medioambiental. En este artículo, a partir de una descripción detallada de los valores geomorfológicos, de la diversidad de la flora y fauna existente y de los vestigios arqueológicos encontrados en este enclave geográfico, se examina desde un enfoque geoecológico la interacción entre todos estos elementos en esta península con el objetivo de discutir desde un punto de vista científico (y alejado de todo matiz geopolítico) la posibilidad de dotar a Punta Elefante de un marco de protección medioambiental semejante a otras áreas antárticas ya protegidas.

2. ÁREA DE ESTUDIO

Las ISS se encuentran alineadas longitudinalmente en dirección SO-NE, discurriendo, a lo largo de 300 km, de forma paralela a la Península Antártica. Este archipiélago cuenta con 10 islas mayores, de las cuáles King George (1.250 km²) y Livingston (818 km²) son las de mayor extensión. El régimen climático del archipiélago presenta unas temperaturas medias anuales comprendidas entre -1 y -2°C a nivel de mar, y una precipitación media anual de 500 a 800 mm (Bañón *et al.*, 2013). Tales condiciones explican que estas islas cuenten con un área glaciada muy extensa, que, en términos relativos respecto al total de la superficie de cada una de ellas, se sitúa entre el 57% en el caso de la isla volcánica de Decepción (López-Martínez y Serrano, 2002) al 100% en la isla Snow. En Livingston, la cobertura glaciar se sitúa en la actualidad ligeramente por encima del 84% de la superficie total de la isla (Osmanoglu *et al.*, 2014). De este modo, la península Byers constituye gran parte del 16% de territorio deglaciado restante. A su vez, en los márgenes de Livingston existen numerosas pequeñas penínsulas también libres de hielo glaciar, las cuales no exceden de 1-1,5 km² de extensión, como es el caso de la Punta Elefante. De hecho, el gradual retroceso del frente del domo glaciar Rotch durante el Holoceno en respuesta a condiciones climáticas más cálidas, ha conllevado la aparición de tales ambientes libres de hielo (Oliva *et al.*, 2014).

La litología del substrato rocoso expuesto en los ambientes deglaciados del archipiélago es mayoritariamente volcánica, con abundancia de material basáltico fuertemente meteorizado por una eficaz gelifracción. En estos ambientes libres de hielo, los procesos periglaciares presentan una amplia extensión, con un *permafrost* esporádico o discontinuo por debajo de 25-30 m de altitud, tornándose continuo por encima de este nivel (Serrano *et al.*, 2008; Vieira *et al.*, 2010). La vegetación es escasa, principalmente constituida por comunidades de líquenes y musgos, con presencia de únicamente dos especies de plantas vasculares: *Deschampsia antarctica* y *Colobanthus quitensis* (Vera, 2011). Sin embargo, la fauna es rica y abundante, tal y como sucede en la mayoría de ambientes litorales de este archipiélago.

Situada en el extremo sur-occidental de la isla Livingston, Punta Elefante es una pequeña península libre de hielo que cuenta con una extensión de 1,16 km² (Figura 1). Limita al norte con el frente del domo glaciar Rotch, mientras que el mar rodea el resto de sus márgenes. Su elevación máxima alcanza los 55 m en la cresta interna de la morrena frontal. Actualmente no hay presencia humana ni temporal

ni permanente en la península, lo que ciertamente ha evitado el respectivo impacto antrópico. Sin embargo, cabe señalar la existencia de cinco sitios de interés arqueológico en Punta Elefante relacionados con la presencia de cazadores de focas y ballenas que faenaban en aguas de este archipiélago entre los siglos XVIII y XIX (Zarankin y Senatore, 2005, 2007). El texto que se presenta a continuación también examina en profundidad estos lugares arqueológicos.

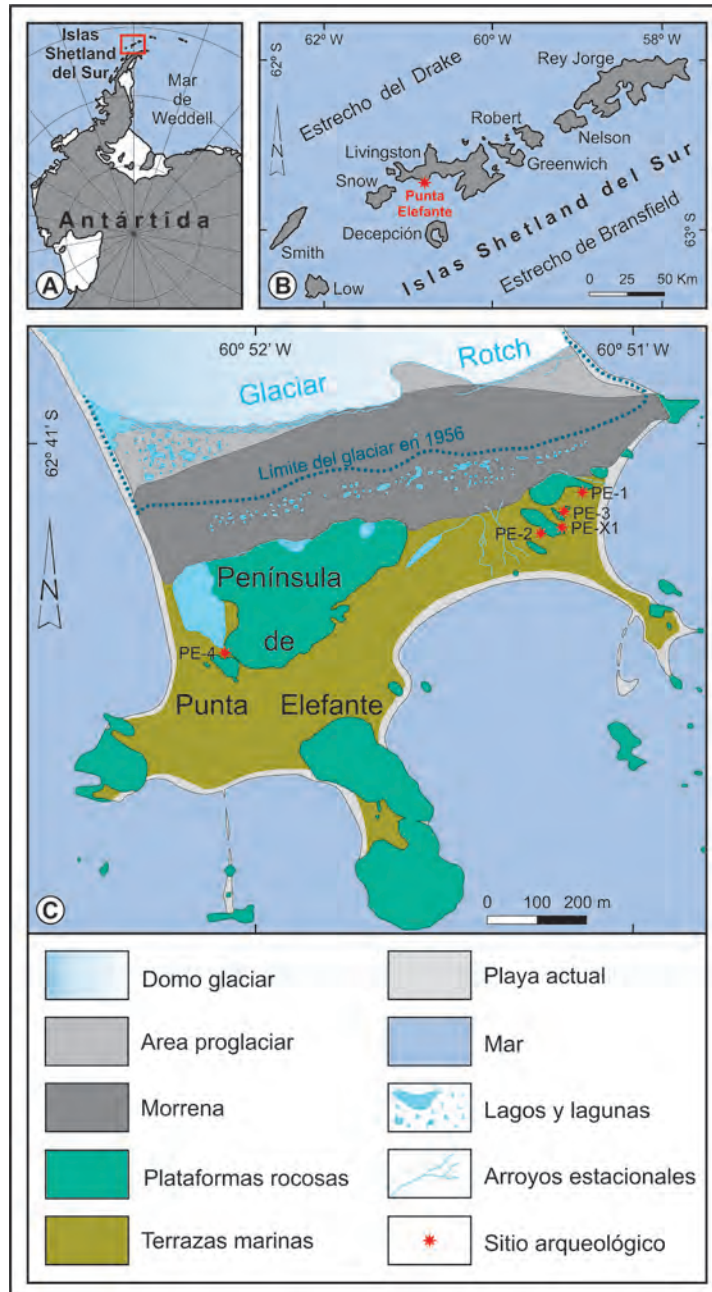


FIGURA 1. (A) LOCALIZACIÓN DE LAS ISLAS SHETLAND DEL SUR EN EL CONTEXTO DEL CONTINENTE ANTÁRTICO Y (B) DE PUNTA ELEFANTE EN EL MARCO DE LAS ISLAS SHETLAND DEL SUR, Y (C) UNIDADES GEOECOLÓGICAS IDENTIFICADAS EN LA PENÍNSULA DE PUNTA ELEFANTE. Elaboración propia.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo fue llevado a cabo entre enero y febrero de 2014. La cartografía geocológica de Punta Elefante se realizó *in situ* una vez que el manto nival que cubría la superficie prácticamente había desaparecido. Ello permitió establecer la distribución espacial de las principales formas geomorfológicas así como de la fauna y flora existentes en esta península. El porcentaje de superficie deglaciada en Punta Elefante entre 1956 y 2010 fue calculado con el sistema de información geográfica QGIS 2.0 a partir de la comparación de dos imágenes entre las que hay un intervalo temporal de más de medio siglo (Oliva y Ruiz-Fernández, 2015).

Una primera inspección ocular efectuada en febrero de 2013 permitió identificar la distribución de los lugares arqueológicos estudiados en febrero de 2014. Los lugares denominados EP-2 y EP-XI fueron seleccionados para un trabajo arqueológico posterior. Una importante colección de objetos fue recuperada de ambos, a pesar de que sólo se excavó el 75% del sitio EP-2 y el 60% del EP-XI, preservando parte del yacimiento por su valor patrimonial y también para posibilitar estudios posteriores. Estas piezas fueron debidamente descritas y fotografiadas. Toda la información cualitativa fue archivada en la respectiva base de datos del registro arqueológico de las ISS de la Universidade Federal de Minas Gerais (Brasil).

4. AMBIENTES GEOECOLÓGICOS EN PUNTA ELEFANTE

La cartografía de la distribución espacial de los ambientes geocológicos en Punta Elefante se basó en la identificación de unidades geomorfológicas y la distribución de la fauna y flora existentes en esos ambientes. En este sentido, fueron identificados seis ambientes diferentes (Tabla 1 y Figura 2):



FIGURA 2. FOTOGRAFÍAS DE LOS SEIS AMBIENTES GEOECOLÓGICOS DIFERENTES EN PUNTA ELEFANTE. Elaboración propia.

Unidad	Geomorfología	Fauna / Flora
Glaciar Rotch	Casquete glaciar en forma de domo	Foca de Weddell, pingüino barbijo, petrel gigante / Algas de nieve
Área proglaciar	Sector recientemente deglaciado donde abundan círculos de piedras, suelos estriados, abanicos aluviales y lagos (<i>kettle-lakes</i>)	Elefante marino, lobo fino antártico, pingüino barbijo, petrel gigante/ Musgos
Morrena	Complejo morrénico con dos cordones principales (45 y 55 m de altitud). Se observan rocas pulidas, morrenas de nevero, montículos de hielo, círculos de piedras, suelos estriados, geoformas solifluidales, coladas de barro, deslizamientos, lagos y lagunas	Petrel gigante, gaviotín antártico, págalo / Plantas vasculares y líquenes
Plataformas rocosas	Culminaciones rocosas de relieve horizontal por encima de las playas levantadas. Presentan superficies pulidas, círculos de piedras, suelos estriados, <i>hummocks</i> , geoformas solifluidales, conos de derrubios y avalanchas rocosas	Pingüino papúa, petrel gigante, gaviotín antártico, págalo / Musgos, líquenes y las dos especies de plantas vasculares propias de la Antártida
Playas levantadas	Unidad constituida por cinco niveles de playas levantadas. Sobre las mismas se distribuyen tómbolos, lagunas, abanicos aluviales, <i>mudboils</i> , montículos de guano y surcos erosivos generados por los elefantes marinos. En esta unidad se han contabilizado hasta cinco sitios de interés arqueológico	Elefante marino, foca de Weddell, lobo fino antártico, pingüinos papúa y barbijo, petrel gigante, págalo / Musgos, líquenes y las dos especies de plantas vasculares propias de la Antártida
Playa actual	El nivel de playa actual incluye tómbolos, playas de arenas y playas de cantos y bloques	Elefante marino, foca de Weddell, foca leopardo, lobo fino antártico, pingüinos papúa y barbijo, petrel gigante, págalo / Algas marinas

TABLA 1. UNIDADES GEOECOLÓGICAS EN PUNTA ELEFANTE CON LAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y LA DISTRIBUCIÓN DE FAUNA Y FLORA EN LAS MISMAS. Elaboración propia.

4.1. GLACIAR ROTCH

El sector frontal del glaciar presenta frentes verticales en ambos márgenes de la península, donde se registran continuos desprendimientos de bloques de hielo al mar, y un sector de pendiente suave en el área de contacto con el sector proglaciar de Punta Elefante. El domo glaciar adquiere una morfología convexa, así como una potencia creciente hacia el norte, alcanzando un máximo espesor de hielo de unos 150 m en el punto más elevado del mismo (Macheret *et al.*, 2009). La actividad biológica es escasa en la superficie del glaciar, quedando tan sólo restringida a sus márgenes adyacentes a la línea de costa, en donde destaca la presencia de petreles gigantes del Sur (*Macronectes giganteus*), pingüinos barbijo (*Pygoscelis antarctica*) y focas de Weddell (*Leptonychotes weddellii*). El trabajo de campo también permitió comprobar la presencia, sobre la superficie innivada del borde frontal del glaciar, de manchas principalmente rojizas que cabe atribuir a la existencia de comunidades de algas de nieve (*Chlamydomonas sp.* y *Chloromonas sp.*) (Remias *et al.*, 2013).

4.2. AMBIENTE PROGLACIAR

Esta área ha aparecido durante las últimas décadas debido al retroceso experimentado por el domo Rotch. La comparación entre la fotografía aérea de 1956 y la imagen satelital de 2010 permite evidenciar el retroceso acelerado del glaciar en apenas 54 años (Figura 1), generando el 17.3% del total de la superficie libre de hielo de la península (Oliva y Ruiz-Fernández, 2015, 2016). El sector proglaciar está formado por dos superficies relativamente llanas situadas en ambos márgenes de Punta Elefante y un altiplano central en donde pueden observarse suelos ordenados de dimensiones decimétricas. Este altiplano actúa como una divisoria de aguas entre aquellos arroyos que desembocan, respectivamente, en la costa oriental y occidental de la península, que han generado dos abanicos proglaciares; decenas de *kettle-lakes* salpican el abanico emplazado en la costa occidental (Figuras 1 y 2). En el ambiente proglaciar la actividad biológica es ciertamente limitada, habiéndose detectado, no obstante, la incipiente presencia de musgos (ej. *Sanionia uncinata*, *Wanstorfia* spp.), aves (petreles gigantes, pingüinos barbijos) así como dos colonias de elefantes marinos (*Mirounga leonina*) en las inmediaciones de la línea de costa. Otros pinnípedos tales como los lobos finos antárticos (*Arctocephalus gazelle*) también fueron observados en esta área.

4.3. SISTEMA MORRÉNICO

Esta área de transición entre el glaciar y la franja litoral de Punta Elefante está formada por una serie de arcos morrénicos yuxtapuestos que se extienden desde la parte oriental hasta la occidental de la península; las crestas de la morrena situadas en una posición más interna y externa constituyen los elementos más elevados del complejo morrénico (55 y 45 m., respectivamente) (Figura 2). La vertiente septentrional de la morrena presenta una intensa dinámica paraglaciar, desencadenada tras la reciente retirada del glaciar Rotch de este sector, a la que hay que añadir una actividad periglacial muy activa. Todo ello conlleva la movilización de un importante volumen de sedimentos no consolidados, especialmente a través de procesos de vertiente tales como deslizamientos, coladas fangosas, flujos de derrubios y procesos solifluidales (Oliva y Ruiz-Fernández, 2015, 2016). Por otra parte, la cobertura vegetal en la vertiente interna y la culminación de la morrena es sumamente exigua y se caracteriza por: 1) la presencia de musgos en los bordes de las pequeñas lagunas localizados entre las dos crestas morrénicas principales, en las cuales la degradación del *permafrost* es significativa, 2) individuos aislados de las plantas vasculares *Deschampsia antarctica* y *Colobanthus quitensis*, y 3) líquenes incipientes (básicamente *Usnea antarctica* y *Usnea aurantiaco-atra*). La vertiente meridional de la morrena es más estable debido a que los procesos paraglaciar se encuentran más atenuados. Sin embargo, la dinámica nival ha formado tres morrenas de *nevé* activas al pie de extensos neveros de fusión tardía. La vegetación en la vertiente meridional de la morrena es también escasa, solamente representada por comunidades aisladas de líquenes y musgos. Ambas comunidades aparecen

en el área de contacto entre la morrena y las playas levantadas superiores, en un ambiente bien surtido en aguas por el drenaje de la fusión nival. Por otra parte, la avifauna observada en la morrena correspondió a petreles gigantes, gaviotines (*Sterna vittata*) y págalos (*Stercorarius antarcticus*).

4.4. PLATAFORMAS Y ESPOLONES ROCOSOS LITORALES

La existencia de superficies rocosas pulidas y con estrías glaciares en algunas de las plataformas rocosas situadas al sur del complejo morrénico sugiere que el glaciar Rotch ya discurrió por esta área antes de la formación del sistema morrénico. Las superficies basálticas localizadas por encima de las playas levantadas holocenas, especialmente las más planas, albergan musgos (*Andreae gainii*), plantas vasculares (*Deschampsia antarctica* y *Colobanthus quitensis*) y una gran diversidad de líquenes crustosos y fruticosos (*Usnea antarctica*, *Usnea aurantiaco-atra*, *Umbilicaria antarctica*, *Rhizocarpon geographicum*) (Figura 2). También se pueden observar extensas áreas de suelos ordenados que aparecen en zonas con presencia de finos gracias a la eficacia de la crioturbación. Ello queda demostrado por la abundancia de círculos de piedras en sectores horizontales o subhorizontales, así como de suelos estriados en ámbitos con pendientes superiores a 6° de inclinación, formados por bandas alternantes de matriz fina y gravas.

Las abundantes colonias de petreles gigantes se localizan preferentemente sobre las plataformas rocosas. Sobre la más meridional de ellas destaca la existencia de una colonia de pingüinos papúa (*Pygoscelis papua*). En los sectores próximos a las colonias de aves se localizan suelos ornitocoprófilos con elevado contenido orgánico cubiertos por alfombras de musgos como *Sanionia sp.* y *Andreae depressinervis*, junto con líquenes crustosos ornitocoprófilos sobre las superficies rocosas (ej. *Caloplaca regalis*, *Xanthoria elegans*, *Haematomma erythroma*). Bajo estas densas comunidades vegetales de porte herbáceo formadas en suelos con abundantes partículas finas y humedad, se desarrollan frecuentemente lóbulos de soliflucción y *earth hummocks*. El contacto entre la morrena y las playas levantadas con las mencionadas plataformas rocosas presenta un aspecto escarpado, incluso con pendientes verticales que favorecen la caída libre de material rocoso, formando, por consiguiente, conos de derrubios y también avalanchas rocosas a los pies de las citadas plataformas y espolones rocosos. En muchos casos, la abundancia de líquenes en la superficie de los derrubios que integran estas formaciones superficiales sugiere la existencia de cierta estabilidad.

4.5. PLAYAS LEVANTADAS

Se han detectado cinco niveles de playas levantadas distribuidas en alturas de 2, 3, 5, 7 y 10 m sobre el nivel del mar actual (Figuras 1 y 2). También cabe constatar la existencia de lagunas semipermanentes en las playas levantadas más elevadas, que cuentan con abundantes comunidades de cianobacterias (*Phormidium sp.*).

En el área comprendida entre la morrena y las playas levantadas se han generado varios abanicos aluviales. En ellos abundan los tapetes de musgos característicos de ambientes encharcados como *Sanionia uncinata* y *Wanstorfia* spp. En las playas levantadas encontramos también pequeñas áreas en donde la crioturbación es muy activa, formando *mudboils*. Sin embargo, la cobertura vegetal es, por lo general, abundante en este caso, estando integrada esencialmente por comunidades de plantas vasculares (*Deschampsia antarctica* y *Colobanthus quitensis*), si bien también están presentes los musgos (*Polytrichastrum alpinum*) y los líquenes, especialmente en los pequeños afloramientos rocosos que sobresalen de las playas levantadas. En estos afloramientos cabe mencionar la presencia de diversos líquenes fruticosos (*Usnea aurantiaco-atra* y *Usnea antarctica*), foliosos (*Umbilicaria antarctica*) y crustosos (*Ochrolechia frigida* y *Rhizocarpon geographicum*), así como algunos musgos (*Andreaea gainii*). En las áreas con presencia de colonias de aves también encontramos líquenes crustosos como *Haematomma erythroma*, *Caloplaca regalis* y *Xanthoria elegans*.

La fauna también abunda sobre las playas levantadas, en donde cabe identificar la presencia de cuatro colonias de pingüinos papúa y cinco de elefantes marinos. La acción de los elefantes marinos tiene una doble vertiente. Por una parte, generan surcos, en ocasiones de gran profundidad (hasta 1 m), sobre la superficie de las playas levantadas (especialmente en los escarpes) en su camino entre el mar y las colonias situadas en las playas levantadas más elevadas. A su vez, contribuyen a fertilizar el suelo en dichas áreas, generando suelos ricos en materia orgánica. Por otra parte, las colonias de pingüinos se distribuyen en las playas levantadas inferiores (2 y 3 m), mientras que en playas levantadas superiores (5 y 7 m) encontramos evidencias de actividad pasada con depósitos de guano que llegan a formar montículos que alcanzan hasta 5 m de largo y 1 m de alto. Restos de guano como éstos han sido fechados por el método de datación radiométrica C^{14} en diversos sectores de las ISS, lo que ha permitido inferir cambios en la distribución espacial de las colonias de pingüinos en este archipiélago desde el Holoceno medio (del Valle *et al.*, 2002; Emslie, 1995). Además, la abundancia de carroña de elefantes marinos y pingüinos en las playas levantadas atrae a un número elevado de aves carroñeras y oportunistas. Todo ello muestra que la actividad biológica en estas áreas es muy intensa, con los petreles gigantes y los págalos alimentándose de carroña o depredando sobre nidos y pingüinos jóvenes. Por último, en las playas levantadas inferiores cerca del mar fueron observados ejemplares aislados de focas de Weddell, lobos finos antárticos y pingüinos barbijo.

4.6. LA PLAYA ACTUAL

La actividad biológica en gran parte de este último sector geoecológico está condicionado por las grandes mareas que se producen en esta parte de la Antártida Marítima (King y Padman, 2005). Las mareas bajas dejan al descubierto dos tómbolos en formación, tanto en la bahía central como en la más occidental. La zona intermareal se caracteriza por la ausencia de vegetación terrestre y por concentraciones importantes de algas marinas en algunas de sus partes. La vida animal (elefantes

marinos, pingüinos y otras aves) es particularmente abundante y activa. En la playa también se observaron ejemplares de focas de Weddell, lobos finos antárticos y ejemplares aislados de foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*). En los acantilados y en los afloramientos rocosos litorales la presencia de aves es muy significativa, principalmente de pingüinos papúa y barbijo, petreles gigantes y gaviotines antárticos.

5. PRIMEROS ASENTAMIENTOS HUMANOS Y SU IMPACTO EN PUNTA ELEFANTE

En las playas levantadas más elevadas de Punta Elefante, al pie de las plataformas rocosas litorales, se han encontrado cinco pequeñas construcciones realizadas con piedra, similares a las existentes también en la cercana península Byers. Dichas construcciones se encuentran emplazadas normalmente junto a afloramientos rocosos y/o cavidades que pasan a constituir una parte de las mismas (Zarankin y Senatore, 2005). La mayoría de estos cobijos presentan una planta todavía bien conservada de forma rectangular o circular, contando con una o dos entradas (Figura 3) y una superficie de entre 15 y 20 m². Además, aunque de manera dispersa, pueden encontrarse huesos de ballenas (vértebras, costillas y piezas mandibulares) que eran utilizados para la techumbre y para reforzar la estabilidad de la estructura (Tabla 2).

Después de un primer reconocimiento, los sitios codificados como EP-2 y EP-XI fueron los que presentaron mayor potencial arqueológico para llevar a cabo excavaciones. La colección de piezas arqueológicas obtenidas en ambos sitios consistió en artefactos manufacturados de hierro, cerámica y madera, así como algunos fragmentos óseos.

5.1. EP-2

Este sitio se encuentra muy bien conservado, presentando una superficie de 15 m² (5 m de largo x 3 m de ancho). Fue construido aprovechando un saliente rocoso a tan sólo 70 m de distancia del mar y a unos escasos 600 m de la fuente de agua dulce más próxima. Está constituido por un cerco de piedra de 0,4 m de grosor, y en el interior de la estructura, tal y como ha sido mencionado anteriormente, destaca la existencia de algunas costillas de ballena, sugiriendo que éstas fueron utilizadas como vigas (Figura 3).

Sitios arqueológicos	Coordenadas	Principales características
Punta Elefante 1 (EP-1)	62°41'27.3" S 60°51'36.3" W	Pequeño espacio individualizado al pie de un afloramiento rocoso. Este sitio no fue excavado.
Punta Elefante 2 (EP-2)	62°41'06.9" S 60°51'13.8" W	Este sitio, delimitado por paredes construidas con fragmentos rocosos, abarca una superficie de 15 m ² . Varios huesos de ballena fueron utilizados como mobiliario y como parte de la estructura del techo. Este espacio constituía la zona habitable, para cocinar y dormir. Se interpreta como el refugio principal de los cazadores de focas.
Punta Elefante 3 (EP-3)	62°41'05.5" S 60°51'10.8" W	Sitio compuesto por dos pequeños espacios contruidos a favor de un afloramiento rocoso. Las paredes están formadas por rocas apiladas, como en la mayoría de los sitios arqueológicos descritos en la isla Livingston. No fue excavado.
Punta Elefante 4 (EP-4)	62°41'03.5" S 60°51'10.8" W	Espacio pequeño construido con piedras y huesos de ballena. El estado de conservación es deficiente. Este sitio no fue excavado.
Punta Elefante Xi (EP-Xi)	62°68'51.8" S 60°85'34.0" W	Cuenta con una superficie de 16 m ² . Constituía el lugar de trabajo utilizado por las mismas personas que vivían en la EP-2 para hervir a los elefantes marinos con el objetivo de obtener aceite.

TABLA 2. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SITIOS ARQUEOLÓGICOS ENCONTRADOS EN PUNTA ELEFANTE. Elaboración propia.

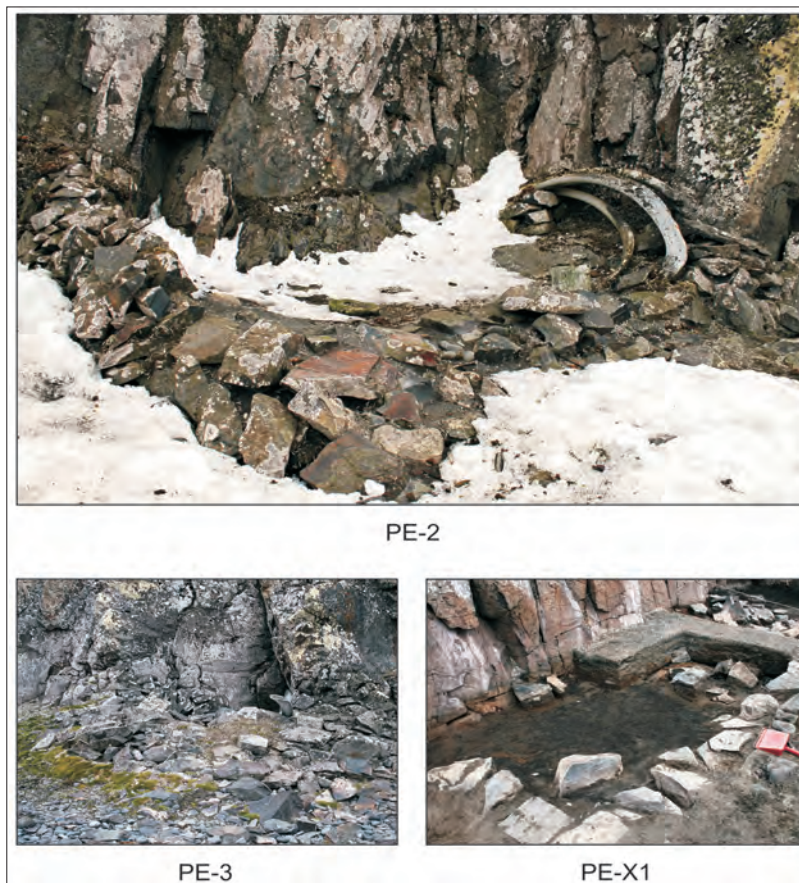


FIGURA 3. IMÁGENES DE TRES DE LOS CINCO LUGARES ARQUEOLÓGICOS EXISTENTES EN PUNTA ELEFANTE. Elaboración propia.

5.2. EP-X1

Este sitio arqueológico se encuentra localizado en la esquina de un saliente rocoso, a una distancia del mar de solamente 50 m y a 550 m del primer recurso de agua dulce. Está integrado por un muro de piedra de 0,8 m de grosor, que forma una área rectangular sin división del espacio interior de 16,8 m² (6 m de largo x 2,8 m de ancho) (Figura 3). Contaba con una gran área interior donde se encontraba el hogar, espacio en que se hacía la lumbre para diversas funciones, entre ellas la productiva como se explicará posteriormente. También hay otro sitio dedicado a la misma función fuera, en la pared opuesta al afloramiento rocoso.

6. DISCUSIÓN

El estudio geoecológico y arqueológico realizado en Punta Elefante pone de relieve el elevado valor de su ecosistema terrestre, así como la trascendencia histórica de esta área libre de hielo en el contexto de la Antártida marítima.

6.1. EL PATRIMONIO GEOMORFOLÓGICO Y GEOECOLÓGICO

El área libre de hielo de Punta Elefante constituye, principalmente, un ambiente con *permafrost* que cuenta con una amplia variedad de geoformas y procesos glaciares y periglaciares característicos de ambientes polares marítimos. Tal y como sugieren las mediciones realizadas sobre la profundidad del suelo congelado, así como las observaciones *in situ*, el *permafrost* presenta una extensión muy destacada en Punta Elefante, incluso en las proximidades del mar (Oliva y Ruiz-Fernández, 2015, 2016). En la cercana península Byers el estudio de Correia *et al.* (2017) ha puesto de manifiesto la presencia de *permafrost* esporádico en algunos niveles de las playas levantadas holocenas, también a pocos metros sobre el nivel actual del mar.

Todos y cada uno de los ambientes geoecológicos libres de hielo que han sido identificados en Punta Elefante son consecuencia del retroceso del glaciar Rotch. La respuesta geoecológica al cambio ambiental post-glaciar depende, por consiguiente, del tiempo de exposición del terreno a las condiciones de ausencia de hielo glaciar, así como a la propia topografía del lugar y a la variabilidad climática imperante. Tomando en consideración las evidencias geomorfológicas, así como también una perspectiva comparativa con el área libre de hielo de la península Byers, cabe asumir que el retroceso del domo glaciar Rotch en Punta Elefante es de edad holocena (Oliva *et al.*, 2014; Ruiz-Fernández y Oliva, 2016, Ruiz Fernández *et al.*, 2016). Sin embargo, este retroceso no fue lineal –en términos cronológicos–, sino que cabe contemplar la existencia de varias pulsaciones glaciares que generaron el extenso sistema morrénico compuesto por varios arcos (dando lugar, por tanto, a una morrena poligénica). A su vez, el retroceso del glaciar fue acompañado de un notable levantamiento glacio-isostático (Fretwell *et al.*, 2010; Watcham *et al.*, 2011) que conllevó la formación de varios niveles de playas levantadas. Cabe señalar además,

que el retroceso del glaciar se ha acelerado a lo largo de las últimas décadas en respuesta al reciente calentamiento detectado en la región de la Península Antártica (Turner *et al.*, 2005; Steig *et al.*, 2009). Como resultado, el 17,3% de la superficie terrestre total de Punta Elefante ha quedado liberada de hielo a partir de 1956, lo que ha intensificado la actividad geomórfica a través de un amplio rango de procesos paraglaciaros y también periglaciares (Oliva y Ruiz-Fernández, 2015, 2016).

La distribución de la flora en Punta Elefante sigue un patrón geográfico directamente relacionado con la edad de deglaciación (Ruiz-Fernández *et al.*, 2017). Casanova-Katny y Cavieres (2012) también observan dicha correlación entre la edad de deglaciación y la distribución de ciertas especies en diferentes enclaves de la Península Antártica. La colonización de las áreas libres de hielo por parte de la vegetación constituye todavía hoy una cuestión de debate. En este sentido, algunos estudios señalan que los pequeños sectores libres de hielo constituyen áreas clave en este proceso (Torres-Mellado *et al.*, 2011). Pese a que los ambientes geomorfológicos recientemente deglaciados de Punta Elefante muestran una colonización vegetal muy escasa y dispersa, las áreas libres de hielo más antiguas presentan una mayor cobertura y diversidad. Destacan diversas especies de musgos y líquenes, así como las dos especies de plantas vasculares ya citadas.

Por el contrario, la distribución de la fauna es claramente dependiente de la distancia con respecto a la línea de costa, especialmente en el caso de animales que dependen directamente del medio marino (pingüinos, focas). Al mismo tiempo, su distribución también se encuentra condicionada por la exposición a vientos dominantes, que determina la localización de las colonias de elefantes marinos. La actividad de la avifauna muestra un patrón similar, aunque las aves generalmente suelen preferir lugares elevados (plataformas rocosas), desde donde observan sus presas potenciales distribuidas a lo largo y ancho de las playas levantadas y de la playa actual.

Aparentemente, el sector del glaciar Rotch en las inmediaciones del área proglaciar de Punta Elefante muestra una actividad biológica pobre, aunque numerosos estudios recientemente publicados han corroborado la existencia de grandes comunidades microbióticas en estos ambientes (Anesio *et al.*, 2007; Anesio y Laybourn-Parry, 2012; Mieczan *et al.*, 2013). Más específicamente, el ambiente proglaciar y el promontorio morrénico presentan escasos líquenes en rocas estables, así como musgos en áreas llanas contiguas a las lagunas (Ruiz-Fernández *et al.*, 2017), las cuales se forman tanto por la retención de agua procedente de la fusión nival como por el descongelamiento de la capa activa del *permafrost*. Cabe mencionar también el claro contraste entre las crestas internas y externas de la morrena debido a los diferentes estadios de actividad paraglaciar en los que se encuentran (Oliva y Ruiz-Fernández, 2015). La vertiente norte, recientemente deglaciada, se encuentra actualmente afectada por una intensa actividad geomórfica que favorece y contribuye a su vez a la movilización de sedimentos, impidiendo el crecimiento de líquenes y musgos.

Las plataformas rocosas litorales constituyen uno de los elementos geomorfológicos más antiguos de la península (Oliva y Ruiz-Fernández, 2016). La larga exposición a condiciones no glaciares ha conllevado una densa cobertura de

estas plataformas por tapetes de líquenes. A su vez, el uso intenso del lugar por parte de colonias de aves ha generado suelos ornitogénicos muy orgánicos (González-Guzmán *et al.*, 2017). Estos suelos han sido observados en numerosas áreas de las ISS, tanto al pie de colonias activas de aves y pingüinos como en aquellas zonas que lo fueron en su día (Michel *et al.*, 2006, 2014).

Por otra parte, las playas levantadas constituyen ambientes en los que puede ser observada la rica biodiversidad, en términos de flora y fauna, de Punta Elefante. Estas áreas constituyen sectores terrestres que fueron expuestos durante los últimos siglos, como es el caso de las playas levantadas superiores, que presentan una abundante y diversa gama de comunidades vegetales (Oliva y Ruiz-Fernández, 2016). La superficie horizontal de las playas levantadas próximas a la costa favorece el uso intensivo por parte de diversas especies de focas, pingüinos y otra avifauna. Este patrón ya ha sido observado también en la península Byers, así como en otras áreas de la Península Antártica (Torres-Mellado *et al.*, 2011). Un patrón similar se observa también en la zona intermareal, fuertemente condicionada tanto por cambios de salinidad como por notables fluctuaciones termométricas (Kuklinski y Balazy, 2014), constituyendo uno de los ambientes con más biodiversidad de la Antártida Marítima. Las algas marinas, usadas por los pingüinos y pinnípedos como los elefantes marinos para yacer sobre ellas, son muy abundantes en este ambiente.

6.2. EL PATRIMONIO HISTÓRICO

Las ISS cuentan con los primeros procesos de ocupación humana del continente antártico, que tuvieron lugar a inicios del siglo XIX. Desde la década de 1820 muchas compañías de diversa índole iniciaron las primeras maniobras de explotación de recursos marinos en la región (Slaney, 1921; Martin, 1940; Stackpole, 1955; Bertrand, 1971; Hodge, 1976; Fitte, 1982; Destefani 1988; Berguño, 1993a, b), iniciativas que cabe situarlas en los procesos de expansión transnacional del sistema capitalista (Zarankin y Senatore, 2005).

Tradicionalmente, la historia antártica oficial ha focalizado sus trabajos principalmente e ornitocropofílicos en las hazañas de héroes exploradores, invisibilizando las historias de personas sin una trayectoria heroica y, por lo tanto, sin motivo para su posterior «mitificación», como fueron los cazadores de focas y ballenas, quienes protagonizaron los primeros asentamientos humanos en la Antártida (Zarankin y Senatore, 2005). Por ello, el conocimiento sobre los primeros pobladores que vivieron en la Antártida durante los meses de verano es escaso. Solamente el estudio de los sitios arqueológicos de cazadores de focas parece abrir un nuevo campo de conocimiento que no ha recibido la suficiente atención hasta hace bien poco tiempo (Zarankin y Senatore, 2007).

En este sentido, Punta Elefante puede ser considerada como una de las áreas con mayor densidad de lugares arqueológicos del siglo XIX de todo el continente antártico. De ahí su gran potencial para profundizar en el conocimiento de las comunidades de cazadores de focas, especialmente en lo que concierne a su calendario y frecuencia de ocupación. A pesar de su reducido tamaño, cinco sitios arqueológicos

diferentes fueron identificados en Punta Elefante. El material arqueológico recolectado en esta pequeña península está siendo actualmente examinado, así como algunas muestras edáficas para determinar los componentes físicos y químicos de los suelos arqueológicos. Sin embargo, y tomando en consideración la distribución espacial de los lugares y los primeros análisis efectuados e interpretados para EP-2 y EP-XI, cabe deducir que, mientras el primero fue un espacio de cobijo e incluso de avituallamiento y reposo, el segundo constituía el espacio productivo manufacturero donde los elefantes marinos fueron hervidos para producir aceite.

Ciertamente cabe resaltar el excelente estado de conservación de EP-2 que puede ser considerado, probablemente, el lugar arqueológico relacionado con los cazadores de focas mejor conservado de la Antártida, gracias, en gran parte, a su localización (Figura 3), cubierta de nieve y hielo gran parte del año, lo que protegió el lugar de la acción animal y de los vientos extremos.

6.3. PERSPECTIVAS FUTURAS EN PUNTA ELEFANTE EN EL CONTEXTO DE LA ANTÁRTIDA MARÍTIMA

Pese al reciente enfriamiento detectado desde 1998 (Oliva *et al.*, 2017), la respuesta de los glaciares en la Península Antártica al notable calentamiento global registrado durante la última mitad de siglo (Turner *et al.*, 2005; Steig *et al.*, 2009) ha comportado la pérdida de masa helada (Pritchard y Vaughan, 2007; Cook y Vaughan, 2010; Rignot *et al.*, 2014). Los escenarios climáticos previstos para las próximas décadas en este archipiélago refuerzan la tendencia al calentamiento (IPCC, 2014). En consecuencia, y a tenor de lo expuesto en el citado informe, muchas áreas actualmente cubiertas por glaciares quedarían descubiertas y sufrirían el mismo proceso que se registra actualmente (y que ha estado ocurriendo durante las últimas décadas) en Punta Elefante. Sin embargo, los cambios medioambientales en la Antártida Marítima no solo estarían relacionados con el retroceso glaciar, sino también con la degradación del *permafrost*. De hecho, la proximidad del *permafrost* con su límite climático en las ISS (Vieira *et al.*, 2010) sugiere que esta región debería ser una de las primeras, en el conjunto antártico, en mostrar los efectos de la reciente aceleración del calentamiento climático en el *permafrost*: pequeños cambios en los índices de humedad y/o régimen termométrico podrían desencadenar cambios morfodinámicos significativos. Por consiguiente, una mejor y más detallada comprensión de la dinámica actual de los ecosistemas terrestres libres de hielo, como es el caso de Punta Elefante, puede ofrecer una visión holística fidedigna de cómo sería la posible evolución medioambiental en muchas áreas de la Antártida Marítima a tenor de lo recientemente expuesto por el IPCC.

Si bien la mayor parte de las áreas protegidas en las ISS han sido definidas por una o un número reducido de variables, con el objetivo de protegerlas para futuras generaciones (Hughes y Convey, 2010), Punta Elefante aparece como un laboratorio natural en donde las más que complejas interacciones entre los procesos geomorfológicos activos y la dinámica ecológica definen un ecosistema terrestre único que debería ser examinado con minuciosidad, a la vez que dotado de protección

ambiental. A todo ello, cabe sumarle que, en este marco geoecológico único, Punta Elefante constituye un área dentro de las ISS con una presión turística y científica inexistente, y eso que el conjunto de este archipiélago constituye la región antártica más visitada por turistas y científicos (Serrano, 2002; Enzenbacher, 2007). De hecho, la cercana península Byers ha sido visitada con finalidades científicas durante los últimos años por una media de 33 investigadores/año (Pertierra y Hughes, 2013).

Buena parte de las ASPAs han sido designadas para protegerlas de las interferencias externas relacionadas con las actividades de científicos, técnicos y turistas que se desarrollan en otras regiones antárticas (Liggett *et al.*, 2011). Este no es el caso de Punta Elefante, escasamente visitado por científicos y nunca por turistas. De ahí que la protección medioambiental otorgada por la figura legislativa ASPA delimitaría en este espacio las actividades científicas que se pueden llevar a cabo y en qué condiciones. Ello permitiría investigar las dinámicas medioambientales de este ecosistema costero cambiante de la región antártica marítima restringiendo la «masificación» científica observada en otros enclaves de las ISS.

Además, la ocupación humana histórica en la península tal y como lo certifica la existencia de varios yacimientos arqueológicos –algunos de ellos en excelente estado de conservación–, constituye otro valor para ser tenido en cuenta. De ahí que Punta Elefante cumpla, sobradamente, con los valores excepcionales solicitados por el Secretariado del Tratado Antártico para designar ASPAs (y que se refieren al ámbito medioambiental, científico, histórico, estético e incluso por su carácter salvaje, prístino). Además, la pequeña península de Punta Elefante, con tan sólo 1,16 km², entraría dentro del 55% de las ASPAs que cuentan con una extensión menor de 3 km².

En resumen, y basándose en los resultados presentados en este artículo, se sugiere como altamente recomendable implementar una protección ambiental adicional al área libre de hielo de Punta Elefante, siendo la designación ASPA la más apropiada, considerando los valores geoecológicos e históricos existentes en esta pequeña península.

7. CONCLUSIONES

A pesar de su reducido tamaño, el área libre de hielo de Punta Elefante constituye un excelente ejemplo de interacción entre los sistemas morfogenéticos, las comunidades vegetales y la fauna representativos del archipiélago de las ISS, en particular, y de la Antártida Marítima en general. En el contexto de rápido calentamiento de las temperaturas previsto para las próximas décadas, Punta Elefante constituye un ambiente único donde examinar los diferentes elementos que influyen en el ecosistema terrestre deglaciado de la Antártida marítima. A su vez, su estudio detallado puede anticipar escenarios futuros para las áreas libres de hielo en una región que está experimentando una rápida deglaciación actualmente, como es el caso del entorno de la Península Antártica.

Las ISS constituyen un área de vital importancia para comprender mejor los escenarios climáticos y medioambientales venideros en la Antártida Marítima debido a la proximidad de la isoterma media anual de 0°C. En el caso del área libre

de hielo de Punta Elefante, el paisaje resultante es una consecuencia de los retrocesos del glaciar de domo Rotch a corta y larga escala temporal. Se han identificado seis ambientes geocológicos diferentes en la península: glaciar Rotch, ambiente proglaciar, sistema morrénico, plataformas y espolones rocosos litorales, playas levantadas y playa actual. La distribución de la fauna y la flora en Punta Elefante se encuentra altamente condicionada por la geomorfología, que a su vez está controlada por el tiempo transcurrido desde la deglaciación de los diferentes ambientes de la península. Si las superficies recientemente deglaciadas cuentan con algunos musgos y líquenes, así como con una presencia muy irregular de animales, los ambientes libres de hielo expuestos con anterioridad tienen una biodiversidad rica, típica de la Antártida Marítima.

Además de este patrimonio geocológico, los lugares de interés arqueológico muestran la importancia histórica que Punta Elefante ha tenido a lo largo de los dos siglos pasados, en relación con la caza de focas y con las primeras actividades manufactureras en la Antártida (obtención de aceite animal). Algunos de estos sitios forman parte del conjunto de lugares mejor preservados en relación a la primera colonización humana de la Antártida, atestiguando cómo era la vida cotidiana de los primeros pobladores estivales de estas tierras.

Con el objetivo de preservar este patrimonio geocológico e histórico se propone implementar un mayor grado de protección ambiental en Punta Elefante que, bajo condiciones ideales, debería estar amparado bajo la figura legislativa ASPA.

AGRADECIMIENTOS

Marc Oliva quiere mostrar su agradecimiento a *AXA Research Fund* por haber apoyado esta investigación. Este estudio fue financiado por el Programa Polar Portugués (PROPOLAR) y el proyecto HOLOANTAR (*Holocene environmental change in the Maritime Antarctic. Interactions between permafrost and the lacustrine environment*), ambos financiados por la *Fundação para a Ciência e a Tecnologia de Portugal*, así como por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad del Gobierno de España, con cargo al proyecto de investigación de excelencia «Evolución glaciar desde el Último Máximo Glaciar en las islas King George y Livingston (Antártida) a partir de dataciones cosmogénicas y reconstrucción de superficies glaciares» – CRONOANTAR, con referencia CTM2016-77878-P. La investigación arqueológica ha sido financiada por PROANTAR/CNPq (Brasil). Agradecemos a los Programas Antárticos de Brasil y Chile su inestimable apoyo logístico durante el trabajo de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- ANESIO, A.M. y LAYBOURN-PARRY, J. Glaciers and ice sheets as a biome. *Trends in Ecology and Evolution*, 2012, 27, 219-225.
- ANESIO, A.M., MINDL, B., LAYBOURN-PARRY, J., HADSON, A.J. y SATTLER, B. Viral dynamics in cryoconite holes on a high Arctic glacier (Svalbard). *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112, G04S31.
- BAÑÓN, M., JUSTEL, A., VELÁZQUEZ, D. y QUESADA, A. Regional weather survey on Byers Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Antarctic Science*, 2013, 25, 146-156.
- BENAYAS, J., PERTIERRA, L., TEJEDO, P., LARA, F., BERMUDEZ, O., HUGHES, K.A. y QUESADA, A. A review of scientific research trends within ASPA No. 126 Byers Peninsula, South Shetland Islands, Antarctica. *Antarctic Science*, 2013, 25 (2), 128-145.
- BERGUÑO, J. Las Shetland del Sur: el ciclo lobero. Primera parte. *Boletín Antártico Chileno*, 1993a, 5-13.
- BERGUÑO, J. Las Shetland del Sur: el ciclo lobero. Segunda parte. *Boletín Antártico Chileno*, 1993b, 2-9.
- BERTRAND, K. *Americans in the Antarctica 1775-1948*. New York: American Geographical Society Special Publication, 39, 1971.
- CASANOVA-KATNY, M.A. y CAVIERES, L.A. Antarctic moss carpets facilitate growth of *Deschampsia Antarctica* but not its survival. *Polar Biology*, 2012, 35, 1869-1878.
- CONVEY, P., HUGHES, K.A. y TINA, T. Continental governance and environmental management mechanisms under the Antarctic Treaty System: sufficient for the biodiversity challenges of this century? *Biodiversity*, 2012, 13 (3-4), 234-248.
- COOK, A.J. y VAUGHAN, D.G. Overview of areal changes of the ice shelves on the Antarctic Peninsula over the past 50 years. *The Cryosphere*, 2010, 4, 77-98.
- CORREIA, A., OLIVA, M., RUIZ-FERNÁNDEZ, J. Evaluation of frozen ground conditions along a coastal topographic gradient at Byers Peninsula (Livingston Island, Antarctica) by geophysical and geoecological methods. *Catena*, 2017, 149, 529-537. DOI: 10.1016/j.catena.2016.08.006
- DEL VALLE, R.A., MONTALTI, D. y INBAR, M. Mid-Holocene macrofossil-bearing raised marine beaches at Potter Peninsula, King George Island, South Shetland Islands. *Antarctic Science*, 2002, 14, 263-269.
- DESTÉFANI, L. La expedición española de 1819 y el Navío San Telmo. *Investigaciones y Ensayos*, 1988, 38, 77-107.
- EMSLIE, S.D. Age and taphonomy of abandoned penguin rookeries in the Antarctic Peninsula Region. *Polar Record*, 1995, 31, 409-418.
- ENZENBACHER, D. Antarctic tourism policy-making. En: TRIGGS, G. y RIDDELL, A. *Antarctica: legal and environmental challenges for the future*. London: British Institute of International and Comparative Law, 2007, 155-189.
- FITTE, E. *Crónicas del Atlántico Sur: Patagonia, Malvinas y Antártida*. Buenos Aires: EMECE, 1982.
- FRETWELL, P.T., HODGSON, D.A., WATCHAM, E.P., BENTLEY, M.J. y ROBERTS, S. J. Holocene isostatic uplift of the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula, modelled from raised beaches. *Quaternary Science Reviews*, 2010, 29, 1880-1893.

- GONZÁLEZ-GUZMÁN, A., OLIVA, M., SOUZA-JÚNIOR, V.S., PÉREZ-ALBERTI, A., RUIZ-FERNÁNDEZ, J., OTERO, X.L. Biota and geomorphic processes as key environmental factors controlling soil formation at Elephant Point, Maritime Antarctica. *Geoderma*, 2017, 300, 32-43. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.04.001
- HODGE, J. *El Extremo Sur de América*. Washington D.C.: América, 1976.
- HUGHES, K.A. y CONVEY, P. The protection of Antarctic terrestrial ecosystems from inter- and intra-continental transfer of non-indigenous species by human activities: a review of current systems and practices. *Global Environmental Change*, 2010, 20, 96-112.
- HUGHES, K.A., PERTIERRA, L.R. y WALTON, D.W.H. Area protection in Antarctica: how can conservation and scientific research goals be managed compatibly? *Environmental Science and Policy*, 2013, 31, 120-132.
- IPCC. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: World Meteorological Organization, 2014.
- IVES, J.D. y BARRY, R.G. *Arctic and Alpine environments*. London: Methuen, 1974.
- KING, M., y PADMAN, L. Accuracy assessment of ocean tide models around Antarctica, *Geophysical Research Letters*, 2005, 32, L23608.
- KUKLINSKI, P. y BALAZY, P. Scale of temperature variability in the maritime Antarctic intertidal zone. *Journal of Sea Research*, 2014, 85, 542-546.
- LIGGETT, D., MCINTOSH, A., THOMPSON, A., GILBERT, N. y STOREY, B. From rozen continent to tourism hotspot? Five decades of Antarctic tourism development and management, and a glimpse into the future. *Tourism Management*, 2011, 32 (2), 357-366.
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. y SERRANO, E. Geomorphology of Deception Island. En: López-Martínez, J., Smellie, J.L., Thomson, J.W. y Thomson, M.R.A. *Geology and Geomorphology of Deception Island*. Cambridge: British Antarctic Survey, 2002, BAS Geomap Series, Sheets 6-A and 6-B, 31-39.
- MACHERET, Y., OTERO, J., NAVARRO, F.J., VASILENKO, E.V., CORCUERA, M.I., CUADRADO, M.L. y Glazovsky, A.F. Ice thickness, internal structure and subglacial topography of Bowles Plateau ice cap and the main ice divides of Livingston Island, Antarctica, by ground-based radio-echo sounding. *Annals of Glaciology*, 2009, 50 (51), 49-56.
- MARTIN, L. Antarctica discovered by a Connecticut Yankee, Captain Nathiel Brown Palmer. *The Geographical Review*, 1940, 30 (4), 529-562.
- MICHEL, R.F.M., SCHAEFER, C.E.G.R., DIAS, L.E., SIMAS, F.N.B., MELO-BENITES, V. y SÁ MENDONÇA, E. Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from Maritime Antarctica. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70 (4), 1370-1376.
- MICHEL, R.F.M., SCHAEFER, C.E.G.R., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., SIMAS, F.N.B., HAUS, N.W., SERRANO, E. y BOCKHEIM, J. Soils and landforms from Fildes Peninsula and Ardley Island, Maritime Antarctica. *Geomorphology*, 2014, 225, 76-86.
- MIECZAN, T., GÓRNIK, D., ŚWIĄTECKI, A., ZDANOWSKI, M. y TARKOWSKA-KUKURYK, M. The distribution of ciliates on Ecology Glacier (King George Island, Antarctica): relationships between species assemblages and environmental parameters. *Polar Biology*, 2013, 36 (2), 249-258.
- MORA, C., VIEIRA, G., PINA, P., LOUSADA, M. y CHRISTIANSEN, H.H. Land Cover Classification Using High-Resolution Aerial Photography in Adventdalen, Svalbard. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 2015, doi: 10.1111/geoa.12088.
- OLIVA, M. y RUIZ-FERNÁNDEZ, J. Geomorphological processes and frozen ground conditions in Elephant Point (Livingston island, South Shetland Islands, Antarctica). *Geomorphology*, 2016, DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.01.020

- OLIVA, M. y RUIZ-FERNÁNDEZ, J. Coupling patterns between paraglacial and permafrost degradation responses in Antarctica. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2015, 40, 1227-1238. DOI: 10.1002/esp.3716.
- OLIVA, M., ANTONIADES, D., GIRALT, S., GRANADOS, I., TORO, M., PLA-RABES, S. y VIEIRA, G. La deglaciación holocena de la península Byers (isla Livingston, Antártida Marítima) a partir de la datación de sedimentos lacustres. *Avances de la Geomorfología en España 2012-2014*, 2014, 523-526.
- OLIVA, M., NAVARRO, F.J., HRBÁČEK, F., HERNÁNDEZ, A., NÝVLT, D., PEREIRA, P., RUIZ-FERNÁNDEZ, J., TRIGO, R. Recent regional climate cooling on the Antarctic Peninsula and associated impacts on the cryosphere. *Science of the Total Environment*, 2017, 580, 210-223. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.030
- OSMANOGLU, B., NAVARRO, F.J., HOCK, R., BRAUN, M. y CORCUERA, M.I. Surface velocity and mass balance of Livingston Island ice cap, Antarctica. *The Cryosphere*, 2014, 8, 1807-1823.
- PERTIERRA, L.R. y HUGHES, K.A. Management of Antarctic Specially Protected Areas: permitting, visitation and information exchange practices. *Antarctic Science*, 2013, 25 (4), 553-564.
- PRITCHARD, H.D. y VAUGHAN, D. G. Widespread acceleration of tidewater glaciers on the Antarctic Peninsula. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface (2003-2012)*, 2007, 112 (F3), F03S29.
- QUESADA, A., CAMACHO, A. y LYONS, W.B. Multidisciplinary research on Byers Peninsula, Livingston Island: a future benchmark for change in Maritime Antarctica. *Antarctic Science*, 2013, 25 (2), 123-127.
- REMIAS, D., WASTIAN, H., LÜTZ, C. y LEYA, T. Insights into the biology and phylogeny of *Chloromonas polyptera* (Chlorophyta), an alga causing orange snow in Maritime Antarctica. *Antarctic Science*, 2013, 25 (5), 648-656.
- RIGNOT, E., MOUGINOT, J., MORLIGHEM, M., SEROUSSI, H. y SCHEUCHL B. Widespread, rapid grounding line retreat of Pine Island, Thwaites, Smith and Kohler glaciers, West Antarctica from 1992 to 2011. *Geophysical Research Letters*, 2014, 41 (10), 3502-3509.
- RUIZ-FERNÁNDEZ, J., OLIVA, M. Relative paleoenvironmental adjustments following deglaciation of the Byers Peninsula (Livingston Island, Antarctica). *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2016, 48 (2), 345-359. DOI: 10.1657/AAAR0015-014
- RUIZ-FERNÁNDEZ, J., OLIVA, M., GARCÍA-HERNÁNDEZ, C. Procesos geomorfológicos y formas del relieve en dos cuencas lacustres de la Península Byers (isla Livingston, Antártida Marítima): implicaciones paleoambientales. *Polígonos, Revista de Geografía*, 2016, 28, 211-237.
- RUIZ-FERNÁNDEZ, J., OLIVA, M., GARCÍA-HERNÁNDEZ C. Topographic and geomorphologic controls on the distribution of vegetation formations in Elephant Point (Livingston Island, Maritime Antarctica). *Science of the Total Environment*, 2017, 587-588, 340-349. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.158
- SERRANO, E. Hielo, montañas, mar y fauna: el turismo en las islas Shetland del Sur (Antártida marítima). *Revue de Géographie Alpine*, 2002, 1 (90), 9-24.
- SERRANO, E., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., CUCHÍ, J.A., DURÁN, J.J., MINK, S. y NAVAS, A. Permafrost in the South Shetland Islands (Maritime Antarctica): spatial distribution pattern. En: Kane, D.L. y Hinkel, K.M. *Proceedings of 9th International Conference on Permafrost*. Fairbanks: University of Alaska Fairbanks, 2008, 2, 1621-1625.
- SLANEY, H. Notice of the voyage of Edward Bransfield, Master of his Majesty's Ship *Andromache*, to New South Shetland. *Edinburgh philosophical Journal*, 1921, 4, 345-348.

- STACKPOLE, E. *The Voyages of the Hurton and the Huntress: The American Sealers and the Discovery of the Continent of Antarctica*. Connecticut: Nabu Press, 1955.
- STEIG, E.J., DING, Q., WHITE, J.W.C., KUTTEL, M., RUPPER, S.B., NEUMANN, T.A., NEFF, P.D., GALLANT, A.J.E., MAYEWSKI, P.A., TAYLOR, K.C., HOFFMAN, G., DIXON, D., SCHOENEMANN, S.W., MARKLE, B.R., FUDGE, T.J., SCHNEIDER, D.P., SCHAUER, A.J., TEEL, R.P., VAUGHN, B.H., BURGNER, L., WILLIAMS, J. Y KOROTKIKH, E. Recent climate and ice-sheet changes in West Antarctica compared with the past 2,000 years. *Nature Geoscience*, 2009, 6, 372-375.
- TERAUDS, A., CHOWN, S.L., MORGAN, F., PEAT, H.J., WATTS, D.J., KEYS, H., CONVEY, P. y BERGSTROM, D.M. Conservation biogeography of the Antarctic. *Diversity and Distributions*, 2012, 18, 726-741.
- TORO, M., CAMACHO, A., ROCHERA, C., RICO, E., BANON, M., FERNANDEZ-VALIENTE, E., MARCO, E., JUSTEL, A., AVENDANO, M.C., ARIOSA, Y., VINCENT, W. F. y QUESADA, A. Limnological characteristics of freshwater ecosystems of Byers. *Polar Biology*, 2007, 30 (5), 635-649.
- TORRES-MELLADO, J.A., JAÑA, R., CASANOVA-KATNY, M.A. Antarctic hairgrass expansion in the South Shetland archipelago and Antarctic Peninsula revisited. *Polar Biology*, 2011, 34 (11), 1679-1688.
- TROLL, C. *Geoecology of the Mountainous Regions of the Tropical Americas*. Proceedings of the UNESCO Mexican Symposium. Bonn: Ferd. Dümmlers Verlag, 1968.
- TROLL, C. *Geoecology of the High-Mountain Regions of Eurasia*. Erdwissenschaftliche Forschung der Akademie der Wissenschaften und der Literatur. Mainz: Franz Steiner Verlag GMBH, 1972.
- TROLL, C. The upper timberlines in different climatic zones. *Arctic and Alpine Research*, 1973, 5 (3), 3-18.
- TURNER, J., COLWELL, S.R., MARSHALL, G.J., LACHLAN-COPE, T.A., CARLETON, A.M., JONES, P.D., LAGUN, V., REID, P.A. y IAGOVKINA, S. Antarctic climate change during last 50 years. *International Journal of Climatology*, 2005, 25, 279-294.
- VERA, M.L. Colonization and demographic structure of *Deschampsia Antarctica* and *Colobanthus quitensis* along an altitudinal gradient on Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Polar Research*, 2011, 30, 7146.
- VERBITSKY, J. Antarctic tourism management and regulation: the need for change. *Polar Record*, 2013, 49 (250), 278-285.
- VIEIRA, G., BOCKHEIM, J., GUGLIELMIN, M., BALKS, M., ABRAMOV, A.A., BOELHOUWERS, J., CANNONE, N., GANZERT, L., GILICHINSKY, D., GORYACHKIN, S., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., RAFFI, R., RAMOS, M., SCHAEFER, C., SERRANO, E., SIMAS, F., SLETTEN, R. y WAGNER, D. Thermal state of permafrost and active-layer monitoring in the Antarctic: advances during the international polar year 2007-2008. *Permafrost and Periglacial Processes*, 2010, 21, 182-197.
- WATCHAM, E.P., BENTLEY, M.J., HODGSON, D.A., ROBERTS, S.J., FRETWELL, P.T., LLOYD, J.M., LARTER, R.D., WHITEHOUSE, P.L., LENG, M.J., MONIEN, P. y MORETON, S.G. A new relative sea level curve for the South Shetland Islands, Antarctica. *Quaternary Science Reviews*, 2011, 30, 3152-3170.
- ZARANKIN, A. y SENATORE, M.X. Archaeology in Antarctica, 19th century capitalism expansion strategies. *International Journal of Historical Archaeology*, 2005, 9(1), 43-56.
- ZARANKIN, A. y SENATORE, M.X. *Historias de un Pasado en Blanco; Arqueología Histórica Antártica*. Belo Horizonte: Argumentum, 2007.