

Tesis Doctorales del MNCN

Distribución, composición y génesis (biótica / abiótica) de los espeleotemas de las cuevas volcánicas de la isla Terceira (Azores, Portugal)

Raquel Daza

Directora: María Angeles Bustillo

Universidad Complutense de Madrid

Septiembre 2015

La Tesis Doctoral se centra en estudiar la distribución, composición y génesis de los espeleotemas de tres cuevas volcánicas en la isla Terceira: Branca Opala, Galeria da Queimada (tubos volcánicos), y Algar do Carvão (sima volcánica). Están localizadas en la misma unidad geológica (Zona Basáltica Fisural). Se diferencian por su génesis (tubos volcánicos o simas), morfología (pocos metros de longitud a varios centenares), profundidad (tubos volcánicos cercanos a la superficie 0.5-2m) y la sima de 125m de profundidad), y edad (Branca Opala 6600 años, Algar do Carvão 1700-3200 años y Galeria da Queimada 4500 años).

Se estudia una gran diversidad de espeleotemas: subacuáticos e inactivos (estromatolitos en Branca Opala) y subaéreo y activos (estalactitas, estalagmitas, coladas, microgours, recubrimientos, etc. en Algar da Carvão y además estalactitas asociadas a raíces en Galeria da Queimada).

Todos los espeleotemas estan formados únicamente por minerales no cristalinos: ópalo-A, óxido/hidróxidos de Fe, alófana y óxidos de Mn. Los es-

peleotemas opalinos de Branca Opala y Algar do Carvão no coexisten con otros minerales, planteándose la hipótesis de una influencia hidrotermal. En cambio, los espeleotemas de Galeria da Queimada reúnen alofana y óxido/hidróxidos de Fe y Mn procedentes de los Andisoles que cubren la cueva. En esta cueva existe una distribución mineralógica preferencial de sus espeleotemas: espeleotemas alofánicos concentrados en la galería izquierda y bajo vegetación arbustiva y espeleotemas rojos y negros en la galería derecha y bajo campos de pasto. Todos los espeleotemas

muestran evidencias de origen biogénico (marcas y moldes de bacterias filamentosas, biofilms, exopolisacáridos y otros microorganismos no identificados) siendo muy diferentes entre sí.

En Branca Opala los espeleotemas se interpretan como estromatolitos opalinos debido a su estructura interna microlaminada y a las formas filamentosas identificadas. Todos se formaron en ambiente subacuático y se contaminaron periódicamente por detritos siliciclásticos finos de la cueva, dando láminas más pardas ricas en Al y con menor proporción de agua que las blancas. En la sima de Algar do Carvão, los espeleotemas opalinos principalmente son inorgánicos porque las evidencias de origen biogénico son escasas. En Ga-



Raquel Daza en la cueva objeto del estudio. / Roberto F. García





leria da Queimada, las rootsicles están formadas por la alternancia anillos inorgánicos (compactos) y anillos orgánicos (porosos). La gran cantidad de bacterias filamentosas más o menos mineralizadas localizadas en los anillos porosos y en el centro (mezcladas con los productos de putrefacción de la raíz), indica un rol bacteriano importante en la formación de las rootsicles. La influencia bacteriana es muy importante en los estromatolitos opalinos (Branca Opala), moderada en las rootsicles (Galeria da Queimada), y muy pequeña en la sima de Algar do Carvão, donde predomina la precipitación inorgánica.

El origen de la sílice capaz de generar espeleotemas opalinos de Branca Opala y Algar da Carvão, es diferente. La fuente hidrotermal local sugerida para la intensa silicificación que engloba Branca Opala no ha podido validarse a partir de las señales geoquímicas, ya que los elementos mayores, menores y tierras raras están asociados a los terrígenos volcanoclásticos que están presentes en las fases opalinas. Para Algar do Carvão se propone que la influencia hidrotermal en la fuente de la sílice es consecuencia de los procesos de ebullición que suceden en la parte superior de los sistemas geotérmicos, donde existe una transferencia de gases ácidos al vapor resultante. Este acidificado puede condensarse en las aguas subterráneas superficiales, acidificándolas. Estas, disolverían los minerales de las rocas volcánicas adyacentes provocando su fuerte enriquecimiento en sílice, y al salir a la cueva sufrirían cambios de CO_2 y pH precipitando la sílice formando espeleotemas.

El papel del estrés oxidativo durante el desarrollo en los compromisos de historia de vida: un estudio en el diamante mandarín (*Taeniopygia guttata*)

Ana Ángela Romero-Haro

Director: Carlos Alonso Álvarez

Instituto de Investigación en Recursos Cienéticos (IREC) y Universidad de Castilla La Mancha

Diciembre de 2015

Los rasgos de historia de vida son características que un individuo manifiesta desde el nacimiento hasta la muerte y que están estrechamente ligadas a la reproducción y la supervivencia. Su expresión puede estar afectada por factores internos del individuo, es decir, por 'limitaciones' y 'compromisos'. Una limitación es un impedimento en la expresión de un carácter, mientras que en un compromiso la expresión de un rasgo impide la manifestación de otro. La base de estos compromisos sería el uso alternativo de recursos limitantes, pero también el daño provocado en un rasgo por la expresión de otro o ciertas señales bioquímicas que no promuevan la expresión de ambos simultáneamente. Aunque se ha señalado al estrés oxidativo como mecanismo implicado en este contexto, existen pocos trabajos longitudinales que estudien su papel en diferentes compromisos durante toda la vida.

En esta tesis hemos estudiado el papel del estrés oxidativo sufrido durante el desarrollo en diferentes compromisos vitales en una población de



Diamante mandarín, *Taeniopygia guttata*.

La hembra está a la izquierda y el macho a la derecha. / Lorenzo Pérez Rodríguez.

diamante mandarín en condiciones de cautividad realizando varias manipulaciones experimentales. Durante el crecimiento se disminuyeron los niveles del antioxidante glutatión. La mayoría de las consecuencias fueron apreciables solo a edad adulta y promoverían una reproducción temprana: las hembras tuvieron mayor peso y condición física y, en ambos sexos, unos picos más rojos (señal sexual). Antes de la cópula se manipuló la inversión reproductiva de los machos estableciéndolos en ambientes con hembras o solo con machos. El estrés oxidativo temprano que sufrieron estos machos no afectó directamente a su inversión, pero el experimentado por el compañero de jaula produjo cambios fisiológicos y morfológicos en ellos. Más adelante, el esfuerzo reproductor de nuestras aves fue manipulado durante la cría de sus pollos aumentando o disminuyendo el tamaño de las nidadas. Las consecuencias fueron sorprendentemente





positivas para aquellos individuos cuyo nivel de estrés coincidía entre el desarrollo y la reproducción, aunque ambos ambientes fueran desfavorables. Aquellos que sufrieron una disminución del nivel de glutatión durante el desarrollo y un aumento del esfuerzo reproductor mostraron unos eritrocitos más resistentes a una hemólisis experimentada bajo estrés oxidativo. Además, los resultados también muestran que cualquier inversión en obtención de pareja puede tener efectos a largo plazo e incluirse en el coste oxidativo de la reproducción. Por último, se detectaron profundas diferencias entre sexos al afrontar los desafíos oxidativos.

La conclusión global es que la disminución de un único antioxidante durante el desarrollo puede influenciar la historia de vida de un individuo. El glutatión ha demostrado ser una molécula con un importante papel programador del fenotipo a largo plazo.

En esta tesis se presenta, además, un trabajo de revisión bibliográfico sobre el coste oxidativo de la reproducción. Existen múltiples causas, mayormente metodológicas, que podrían explicar los resultados contradictorios de los trabajos experimentales actuales. Pero no podemos descartar que la reproducción pudiera disminuir el daño oxidativo en determinadas circunstancias mediante un proceso de hormesis (compensación) y/o por utilización de macromoléculas oxidadas y acumuladas para usarlas en la reproducción. Diferentes resultados encontrados en esta tesis apoyarían estas hipótesis.

Caracterización molecular de los parásitos que infectan Lagartos y su influencia sobre los ornamentos de color

Rodrigo Megía-Palma

Directores: Santiago Merino y Javier Martínez

Universidad Complutense de Madrid

Enero de 2016

La selección natural ha favorecido a lo largo de la evolución la presencia de rasgos y comportamientos exagerados en las distintas especies donde la reproducción es sexual. El mantenimiento de esa exageración de formas y colores viene, contra intuitivamente, condicionado por el hecho de que estos caracteres sexuales son costosos de producir y mantener ya sea por la energía que le supone al cuerpo producirlas, porque estén asociados a una mayor susceptibilidad a la depredación o porque estén unidos a costes de mantenimiento de territorios y enfrentamientos con otros individuos. Son, en este sentido, indicadores de la calidad genética de un individuo para permanecer vivo y con un aporte energético óptimo a pesar de los costes que le pueda acarrear portar un ornamento exagerado siguiendo el razonamiento expuesto por Amotz Zahavi en 1975. Por tanto, el sexo que determina que estos rasgos sean o no heredados a la siguiente generación es normalmente el femenino ya que mediante el mecanismo de la selección sexual estos rasgos se seleccionan favoreciéndose su permanencia. En este sentido, algunos de los costes asociados al mantenimiento de estos

rasgos son determinados por las enfermedades. En este caso los parásitos (protozoos, virus, bacterias, garrapatas, gusanos...) son los responsables de que la expresión de algunos caracteres sexuales esté condicionada. Por tanto, en 1982 los ecólogos evolutivos Bill Hamilton y Marlen Zuk postularon que los individuos ornamentados podrán comunicar mediante el grado de expresión de un ornamento su capacidad de evitar o soportar infecciones parasitarias.

En esta tesis doctoral, por tanto, para testar la hipótesis de Hamilton & Zuk hemos empleado un modelo de estudio menos conocido en las inte-

Machos de las distintas especies de lagarto estudiadas en esta tesis mostrando sus ornamentos sexuales amarillos y azules. De arriba a abajo: Lagarto verdinegro en Segovia. Lagarto tizón en Canarias. Lagartija de valla en California. / Rodrigo Megía Palma





Protozoos apicomplejos encontrados en la sangre o las heces de lagartos. De izquierda a derecha los géneros *Schellackia*, *Isozona* y *Karyolysus*. / Rodrigo Megía Palma

raciones parásito-hospedador pero de alta importancia ecológica. Los reptiles. Hemos explorado las posibles relaciones entre la expresión de ornamentos basados en melaninas (de síntesis endógena y asociados al estatus oxidativo del individuo) y otros basados en carotenoides (con posible efecto antioxidante y de necesaria obtención del medio a través de la dieta). Para ello hemos querido comparar entre distintos modelos y por tanto hemos estudiado desde poblaciones canarias del lagarto tizón, *Gallotia galloti*, a poblaciones peninsulares de lagarto verdinegro, *Lacerta schreiberi*, y a poblaciones californianas del lagarto de valla, *Sceloporus occidentalis*. En estos estudios correlacionales hemos podido comprobar cómo al estudiar distintos parásitos que producen infecciones agudas (como los ectoparásitos) y algunas crónicas (como los endoparásitos) pudimos encontrar algunos resultados comparables entre los distintos sistemas y hemos podido elaborar algunas hipótesis novedosas sobre qué nos cuentan sobre los individuos (y sobre procesos evolutivos) los ornamentos sexuales de las lagartijas.

Como colofón, los estudios enmarcados en esta tesis doctoral han permitido utilizar algunos

de los parásitos más comúnmente encontrados en reptiles de todo el mundo para realizar estudios filogenéticos relevantes desde un punto de vista taxonómico y evolutivo sobre uno de los grupos de parásitos menos conocidos. **La tesis se puede consultar en la Biblioteca del MNCN-CSIC.**

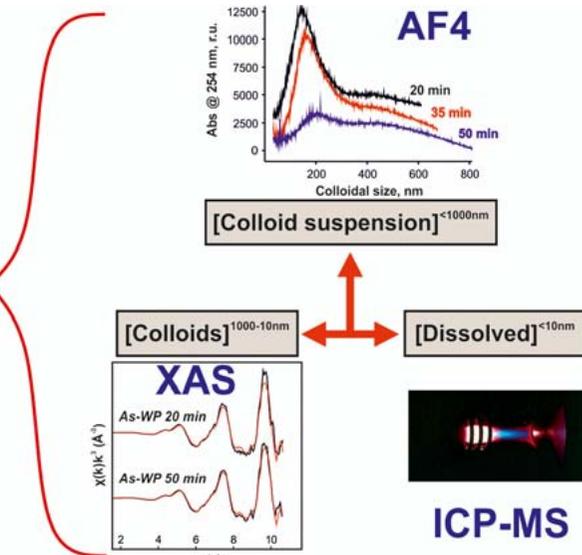
Aplicación combinada de técnicas estroscópicas y de separación para la caracterización y la especiación de elementos tóxicos en vectores coloidales de interés geoquímico

Miguel Ángel Gómez González
Directores: Francisco Laborda García y y Fernando Garrido Colmenero
Enero 2016



Imagen esquemática de los ensayos de simulación de lluvias llevados a cabo en la zona de Guadalix, junto con los principales resultados obtenidos representados gráficamente / Miguel Ángel Gómez González

Los residuos producidos en fundiciones y diversas actividades mineras que, en ocasiones, quedan acumulados en la superficie del suelo son uno de los focos principales de contaminación del sistema suelo-agua por metales y metaloides. Las precipitaciones y la erosión de dichos residuos pueden conducir a la dispersión de dichos metal(oid)es de distintas maneras. Una forma de movilización no suficientemente estudiada es la inducida por asociación de los metal(oid)es a partículas coloidales. Con el fin de proteger la degradación del sistema suelo-agua es necesario disponer de modelos que permitan prevenir los efectos de este proceso dinámico. Sin embargo, los modelos actuales no alcanzan el nivel de eficacia deseable debido un conocimiento limita-





do sobre la asociación de elementos tóxicos a coloides y su papel como vectores de especies contaminantes. El escaso desarrollo de técnicas analíticas apropiadas añade una dificultad extra al estudio de estos procesos naturales.

En esta Tesis Doctoral se ha examinado la dispersión de arsénico y otros metales tóxicos desde dos zonas contaminadas por arsénico como consecuencia de antiguas explotaciones mineras en la Comunidad Autónoma de Madrid (España): La mina 'El Verdugal' en Guadalix de la Sierra que presenta residuos de procesamiento ricos en escorodita $[\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ ($[\text{As}] = 19 \text{ g kg}^{-1}$) y la mina 'Mónica' en Bustarviejo que contiene residuos principalmente compuestos por arsenopirita $[\text{FeAsS}]$ ($[\text{As}] = 0.2 \text{ g kg}^{-1}$). Para ello, se ha diseñado una estrategia analítica basada en el análisis complementario de la mineralogía de suelos y sedimentos así como de su fracción coloidal dispersable con tamaño menor de 1000 nm. Esta estrategia se basa en la combinación de técnicas de análisis tales como: (1) Fraccionamiento en flujo por campo de flujo asimétrico acoplado a plasma de acoplamiento inductivo con espectrómetro de masas (AF4-ICP-MS) y detección de partículas individuales mediante espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (SP-ICP-MS), con las que se obtiene la distribución por tamaños de la fracción coloidal y de los metal(oid)es asociados, así como (2) Espectroscopía de absorción de rayos X (XAS) sobre la transición electrónica 'K' del arsénico y del hierro, que ofrece información relativa a la especiación química directa de dichos elementos en fase sólida.

De manera complementaria, se evaluó la presencia y distribución de talio en los mismos escenarios estudiados. El talio es un metal que presenta una mayor toxicidad que otros elementos como arsénico, mercurio, cadmio o plomo, para la mayor parte de los organismos vivos. Por lo tanto, resulta fundamental conocer los mecanismos geoquímicos que operan en su movilización desde fuentes naturales hasta su acumulación en los suelos. La aplicación de la microscopía electrónica de barrido en combinación con la espectrometría de dispersión de energía de rayos X y la catodoluminiscencia (SEM-EDS-CL) permitió estudiar la distribución de talio en suelos afectados por residuos mineros, así como evaluar el papel de los coloides y otras fases minerales en la retención y el transporte del talio dentro del sistema suelo-agua.

Los andrógenos de la yema como moduladores de los compromisos de las estrategias vitales en el estornino negro (*Sturnus unicolor*)

Jaime Muriel

Director: Diego Gil y Lorenzo Pérez-Rodríguez

Universidad Complutense de Madrid

Enero 2016

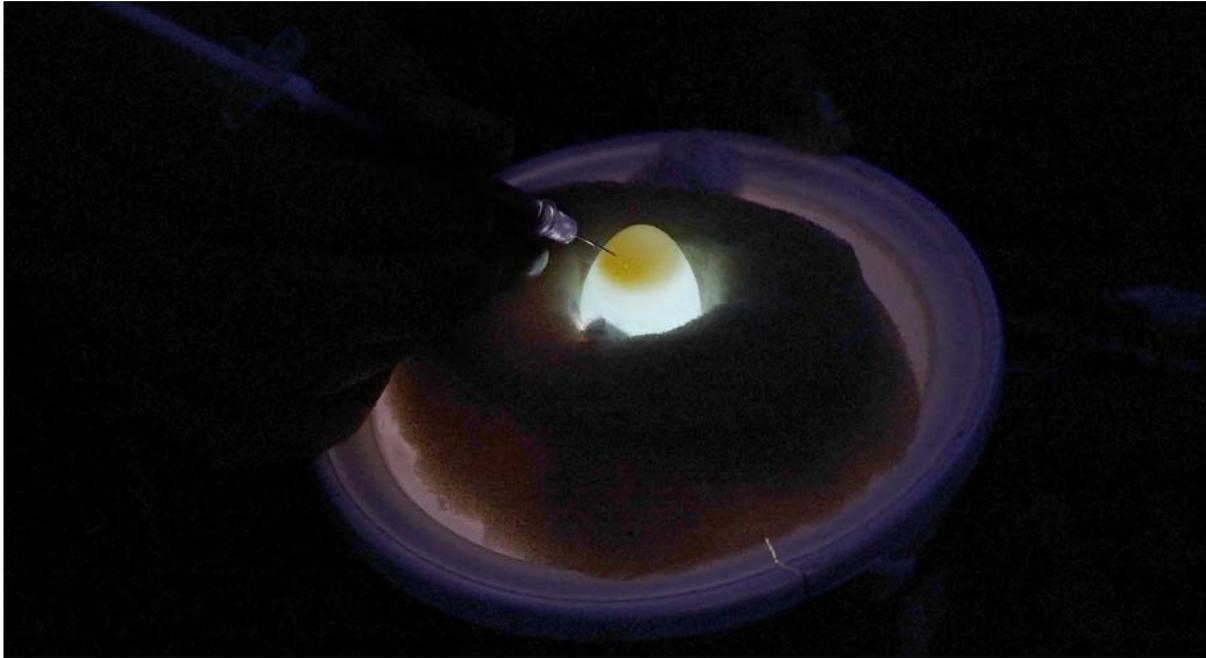
Los efectos maternos pueden intervenir en diversos procesos ecológicos y evolutivos, mejorando la adaptación de la descendencia a un ambiente cambiante. En aves, las madres pueden

amortiguar el impacto de la heterogeneidad ambiental en la progenie mediante las hormonas que depositan en la yema del huevo. Aunque diversos estudios han mostrado que los andrógenos de la yema pueden beneficiar ciertos aspectos del desarrollo temprano de los pollos, altos niveles podrían conllevar costes para el individuo, como una inmunosupresión derivada, por ejemplo, del compromiso entre crecimiento y respuesta inmune. Aunque la mayor parte de los estudios realizados hasta ahora se han centrado en los efectos de estos andrógenos de origen materno sobre el desarrollo temprano del individuo, dichos efectos podrían tener también consecuencias a largo plazo, alterando el fenotipo y la eficacia biológica del individuo adulto.

Para evaluar apropiadamente el papel de los andrógenos de la yema como moduladores de los compromisos de las estrategias vitales, debemos considerar que sus efectos pueden variar en función de factores como el sexo del embrión, la fase del desarrollo, el tipo de andrógeno en cuestión, su dosis o el contexto ambiental en que se desenvuelve el individuo. En esta Tesis Doctoral, empleando como modelo de estudio al estornino negro, *Sturnus unicolor*, manipulamos la concentración de andrógenos en yema en una población natural de la especie con el objeto de analizar el balance entre costes y beneficios durante el desarrollo temprano, así como los efectos sobre la estrategia vital de los individuos a lo largo de su vida.

Encontramos que los dos andrógenos más abundantes en la yema de huevo en aves, testosterona (T) y androstenediona (A4), afectaron a distintos





Inyección de andrógenos en la yema de un huevo de estornino negro. Al poner el huevo en posición vertical la yema migra a la parte superior, donde se logra visualizar mediante la proyección de luz desde el extremo opuesto. /Lorenzo Pérez-Rodríguez.

rasgos del pollo durante el desarrollo en el nido y que sus efectos no son aditivos. Estos andrógenos ejercen efectos dependientes de la dosis bastante complejos durante el desarrollo temprano, que pueden ser tanto lineales como no lineales en función del rasgo de que se trate. Esto sugiere que unos niveles altos de andrógenos en la yema no siempre resultan beneficiosos para el individuo, sino que el balance entre costes y beneficios de dichas hormonas depende enormemente de su concentración. Por otro lado, un incremento en los niveles de andrógenos en la yema tuvo un

efecto inmunosupresor dependiente del sexo del pollo, afectando negativamente tanto a componentes del eje innato como adaptativo del sistema inmunitario en machos, pero no en hembras. Además, el efecto de los andrógenos de la yema en el desarrollo previo y posterior a la eclosión fue dependiente del contexto ambiental: mayores niveles de andrógenos aceleraron el desarrollo embrionario y mejoraron la respuesta inmune adaptativa en puestas tempranas, pero redujeron la supervivencia en el nido y dicha respuesta inmune en puestas realizadas al final de la estación, cuan-

do las condiciones ambientales son más duras. Finalmente, los niveles de andrógenos en la yema no sólo afectaron al desarrollo y estado del pollo en el nido, sino que también tuvieron influencia a largo plazo sobre ciertos rasgos de su estrategia vital, de nuevo dependiendo del sexo del individuo. Así, un incremento en los niveles de andrógenos del huevo se tradujo en un mayor desarrollo de las plumas ornamentales de la garganta, pero afectó negativamente la función inmunitaria celular, la tasa de supervivencia y el éxito reproductor en machos de puestas tardías. En hembras, en cambio, un incremento en la concentración de andrógenos en la yema no afectó a la supervivencia adulta, pero disminuyó el número de huevos puestos e incrementó su tamaño, lo que contribuyó a un efecto transgeneracional de los andrógenos maternos, aumentando el tamaño de los descendientes en la F1.

En resumen, nuestros resultados apoyan papel relevante de los efectos maternos mediados por hormonas en la plasticidad fenotípica de los individuos. Las variaciones en los niveles de andrógenos en la yema se traducen en efectos a corto y largo plazo en rasgos de la estrategia vital de los individuos que, en última instancia, tienen un impacto detectable en su eficacia biológica. Por tanto, esta Tesis Doctoral confirma la implicación de los andrógenos de origen materno en el desempeño de la descendencia, apoyando su papel mediador en los procesos adaptativos.



Ecosistemas microbianos endolíticos en nódulos superficiales de halita del desierto hiperárido de Atacama: microclima, microhábitat y biodiversidad.

Sergio Valea Peces

Directores: María Asunción de los Rios Murillo y Jacek Wierzcchos

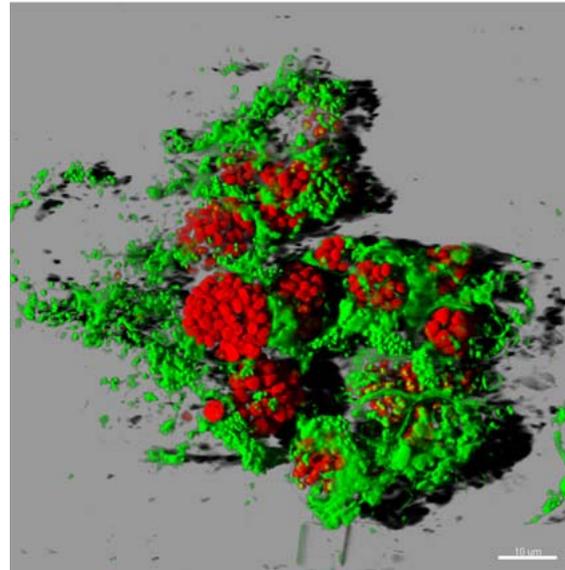
Museo Nacional de Ciencias Naturales y Universidad Complutense de Madrid

Enero 2016

El Desierto de Atacama, situado en el Norte de Chile, está considerado como el desierto más seco y más antiguo de la Tierra. Su denominado Núcleo Hiperárido constituye uno de los ambientes más extremos de nuestro planeta no solo debido a la falta de precipitaciones y las elevadas tasas de evaporación sino también a causa de la intensa radiación solar, sobre todo UV, la amplia oscilación diaria de la temperatura y la humedad relativa del aire, y la presencia en los suelos de elevadas cantidades de sales y oxidantes inorgánicos que configuran un escenario de oligotrofia extrema e imponen severas limitaciones para establecimiento y supervivencia de organismos vivos. A pesar de estos condicionantes aparentemente incompatibles con la vida, y que configuran al Desierto de Atacama como un análogo ambiental de Marte, destaca por su singularidad la presencia de colonización microbiana endolítica en nódulos superficiales de halita situados en diferentes salares fósiles del Núcleo Hiperárido de Atacama. Estas rocas, constituyen un microhábitat endolítico único que permite el

establecimiento de comunidades de microorganismos basadas en la fotosíntesis en lugares que han llegado a ser catalogados como el límite seco para la vida fotosintética en la Tierra.

El objetivo principal de esta tesis doctoral ha consistido en realizar una detallada caracterización de las comunidades microbianas endolíticas presentes en los nódulos superficiales de halita ofreciendo una descripción de su ecología bajo tres aproximaciones metodológicas diferentes



Nódulos de halita del Desierto de Atacama; sección transversal de un nódulo de halita con colonización microbiana endolítica (banda oscura); Reconstrucción 3D mediante microscopía confocal de un agregado celular compuesto por cianobacterias (señal roja) estrechamente asociadas a bacterias y arqueas heterótrofas (señal en verde).”

pero complementarias que han permitido entender el entorno físico en el que se encuentra la microbiota que coloniza los nódulos, analizar el microhábitat y el entramado de relaciones que establecen los microorganismos a la escala a la que llevan a cabo sus actividades y un análisis de la diversidad procariota que compone este ecosistema microbiano.

Los resultados obtenidos en este estudio han mostrado que, a diferencia de otros ecosistemas líticos, los nódulos de halita no sólo actúan a modo de refugio sino que el sustrato, a través de sus propiedades higroscópicas (delicuescencia) y estructurales (microporosidad), desempeña un papel activo en la captación y retención de agua procedente de la humedad del aire. A su vez, la morfología de los nódulos y su capacidad para filtrar la radiación UV permitiendo el paso de radiación fotosintéticamente activa, facilitan la colonización del interior de los nódulos por comunidades de microorganismos basadas en la fotosíntesis. Estas propiedades configuran a los nódulos superficiales de halita como un hábitat potencial para la búsqueda de indicios de vida en Marte.

La colonización microbiana presente en el interior de los nódulos se organiza en forma de agregados celulares que se disponen en los espacios entre los cristales de halita. Estos agregados se encuentran compuestos por un posible nuevo género de cianobacteria, como productor primario, y distintas agrupaciones de bacterias y arqueas heterótrofas todos ellos asociados de



forma estrecha y embebidos en una matriz de sustancias poliméricas extracelulares (EPS) dentro de la cual se producen las interacciones bióticas y abióticas. Los análisis acerca de la diversidad procariota parecen indicar la elevada presión selectiva de este microhábitat, que muestra características de un ambiente extremadamente seco y un ambiente extremadamente hipersalino, haciendo de los nódulos de halita un microecosistema excepcional y altamente especializado.

El estudio comparado de la colonización de nódulos procedentes de cuatro localizaciones diferentes ha permitido detectar diferencias a nivel microclimático en el entorno de los nódulos entre localidades que han podido ser vinculadas a las variaciones en el comportamiento microclimático en el interior de los nódulos, a las diferencias en la estructura porosa y a las variaciones en la estructura de comunidad microbiana.

Wildlife in a human-dominated world: impacts of anthropogenic landscape changes on birds and mammals in Spain

Aurora Torres

Director: Juan Carlos Alonso
Universidad Autónoma de Madrid
 Febrero 2016

Desde mediados del s. XX y con mayor intensidad en las últimas décadas, están teniendo lugar procesos de cambio en el paisaje y en el clima a una velocidad sin precedentes. Estos proce-

sos ejercen fuertes presiones sobre la fauna, las comunidades y los ecosistemas y abren nuevas incógnitas sobre su capacidad de respuesta. En las últimas décadas, el conocimiento de cada uno de estos procesos ha experimentado notables avances. Sin embargo, son muchos aún los interrogantes sobre (i) los efectos de las infraestructuras a gran escala, (ii) las relaciones teóricas y empíricas entre distintos procesos de cambio y (iii) la contribución de los cambios ambientales en paisajes agrícolas – más allá de la intensificación agrícola – al declive de la biodiversidad asociada a estos medios. En esta tesis doctoral se abordan estas cuestiones mediante estudios que abordan distintas escalas y emplean aproximaciones orientadas a especies y a patrones, y de los que se derivan medidas concretas en apoyo de la conservación y la planificación.

La tesis comienza con un enfoque orientado a una especie emblemática de medios agrícolas, la

avutarda común, *Otis tarda*. Analizamos los efectos de la construcción de una autopista sobre una población del centro peninsular y detectamos un claro comportamiento elusivo y un acusado descenso poblacional en la zona de impacto. A raíz de este trabajo era imperativo avanzar en el estudio de la importancia de los efectos negativos de estas y otras infraestructuras en las poblaciones animales de los paisajes agrícolas.

En el siguiente trabajo mostramos por primera vez un análisis de la proximidad a las infraestructuras europeas de transporte, revelando su omnipresencia y su potencial para influir negativamente sobre las poblaciones de animales salvajes. Destacando el caso de España, estimamos que el área de influencia de las infraestructuras (*road-effect zone*) cubre algo más del territorio nacional en el caso de aves y prácticamente la totalidad del territorio en el caso de mamíferos. Además, las zonas agrícolas resultaron ser los



Ilustración de paisajes agrícolas / María Pinilla





Huella de lince ibérico,
Lynx pardinus



Huella de avutarda,
Otis tarda

hábitats más expuestos tanto a vías de comunicación como a edificaciones.

Uno de los efectos más ampliamente reconocidos de las infraestructuras es la fragmentación del paisaje. Se asume normalmente que los patrones de fragmentación del paisaje están muy correlacionados con otros motores de cambio ambiental como la dispersión urbanística. Sin embargo, en el siguiente trabajo concluimos que la relación dispersión-fragmentación no es predominante, varía a través del espacio y con la escala. Por lo tanto, la evaluación del impacto de

usos intensivos del suelo debe informar de ambos aspectos empleando distintos indicadores.

A la luz de estas ideas, desarrollamos un experimento en la España peninsular en el que medimos los cambios en intensificación agrícola, fragmentación del paisaje, dispersión urbanística y clima de 1956 a 2001 en cuarenta paisajes agrícolas. Concluimos que existe un retraso en la respuesta de las comunidades de aves, de tal forma que la riqueza actual de especies se explica mejor por predictores del pasado tanto de paisaje (principalmente dispersión urbanística) como de clima. Por tanto, las decisiones referentes a la conservación en paisajes agrícolas basadas en cómo responden las especies a valores actuales del ambiente y centradas exclusivamente en la intensificación agrícola son probablemente insuficientes para evitar la pérdida de especies en el futuro.

Programas de divulgación científica, experiencias educativas para democratizar la ciencia en museos. Los programas públicos del MNCN-CSIC (1990-2015)

Pilar López García-Gallo

Directora: M^a Rosario Limón Mendizábal
Universidad Complutense de Madrid

Febrero 2016

En la actual sociedad del conocimiento en la que los ciudadanos pueden disponer de un acceso casi ilimitado e inmediato de la información, y procesar y transmitir esta información influye determinadamente en la actividad de las perso-



nas tanto en el desarrollo de su economía como en el ocio y en la vida pública, el compromiso de los museos de historia natural es hacer más accesibles sus fondos de colección y mostrar a la sociedad el trabajo de los científicos. Esta labor se realiza a través de sus exposiciones pero se hace más completa, cercana y evidente para el público cuando se realiza además, a través del diseño y puesta en práctica de diferentes actividades, que cada día se desarrollan en este tipo de centros, de manera específica, en función de los intereses y características de los diferentes tipos de público. En esta investigación se describen y analizan las principales actividades desarrolladas con el objetivo de divulgar la ciencia, durante más de 25 años en el Museo Nacional de Ciencias Naturales, MNCN-CSIC.

Estas actividades se han ido agrupando y consolidando en un programa educativo de divulgación científica. El objetivo a largo plazo es que estas actividades reviertan en dinamizar la institución,



acercar la ciencia a los ciudadanos en función de las diferentes tipologías del público, fomentar la creación de nuevas vocaciones científicas entre los ciudadanos más jóvenes y fidelizar al visitante adulto. El reto para el futuro es mantener una programación sostenible que capte el interés y la implicación de los visitantes y la incorporación paulatina de nuevos públicos.

Community dynamics of stabilized dune xerophytic shrubs

Sergio Chozas Vinuesa

Directores: Joaquín Hortal y Otilia Correia

Universidade de Lisboa

Febrero 2016

Los matorrales xerofíticos de las dunas consolidadas del suroeste de la península ibérica se encuentran gravemente amenazados y poseen un elevado número de especies endémicas, raras y en peligro. Estas comunidades están sometidas a fuertes estreses ambientales y en ellas se han descritos numerosas interacciones bióticas, convirtiéndolas en un objeto de estudio ideal para analizar las dinámicas sucesionales y espaciales de las comunidades vegetales.

En primer lugar se estudiaron los factores que determinan la composición y distribución de las comunidades arbustivas de las dunas del estuario del Tajo y la península de Setúbal (Portugal) a escalas local, de paisaje y regional. La distribución de estas comunidades está influida por factores tanto locales como regionales. Se encontró un gradiente sucesional entre las comunidades dominadas

por *Stauracanthus genistoides* y las de *Ulex australis*, que responde a variables edáficas locales, y otro entre las comunidades de *Stauracanthus genistoides* y las de *Juniperus navicularis*, que responde a los gradientes de aridez regional y a la perturbación agrícola local. Estos cambios sucesionales conllevan alteraciones en la riqueza de especies y la diversidad de grupos y características funcionales, así como cambios en varias características funcionales clave a lo largo de las sucesiones.

Posteriormente, se estudió la distribución y el nicho realizado de las tres especies del género *Stauracanthus* (*S. boivinii*, *S. genistoides* y *S. spectabilis*) para determinar la importancia de factores ambientales y restricciones biogeográficas sobre la distribución de estas especies clave de las sucesiones estudiadas. Las tres especies responden de manera muy similar a cuatro factores principales: estacionalidad de las precipitaciones, amplitud térmica diaria y anual y temperatura media en invierno. Esto indica que factores biogeográficos y



cambios de preferencia edáfica son los principales responsables de la diversificación de *Stauracanthus* y la distribución actual de sus especies.

Finalmente, analizamos la influencia de la adecuación para las especies clave y otros factores ambientales sobre las sucesiones previamente identificadas a lo largo de todo el suroeste de la península ibérica. Encontramos una coherencia remarcable de la sucesión, aunque las comunidades responden de forma diferente a los gradientes ambientales en cada una de las diferentes regiones donde aparecen. Por eso sugerimos que la importancia relativa de los factores responsables de las alteraciones sucesionales depende, por un lado, tanto de procesos históricos como del nivel de idoneidad de las condiciones locales para las especies clave de estas comunidades. Pero además está condicionada al mismo tiempo por mecanismos intrínsecos de las comunidades, lo que se traduce en un elevado grado de homogeneidad entre los diferentes estados sucesionales en las distintas regiones. Estos resultados nos llevan a proponer la implementación de estrategias de conservación dinámicas, que aseguren el funcionamiento natural de estas comunidades y garanticen sus dinámicas sucesionales.

Protocolos de Conservación y Restauración aplicables a la Colección de Aves y Mamíferos Naturalizados del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid (MNCN-CSIC)

Rita Gil Macarrón

Directores: Luís Castelo Sardina, Sonia



Santos Gómez, Carlos Pereira Prado
Universidad Complutense de Madrid.

15 de diciembre 2015

A pesar del gran valor que albergan las colecciones del MNCN-CSIC, tanto desde un punto artístico como científico, han sufrido los numerosos avatares que la institución ha tenido a lo largo de la historia, y consecuencia de ello es que se han ocasionado pérdidas de ejemplares y daños diversos. Además, los ejemplares destinados a exposición poseen una estructura compleja y gran variedad de materiales diferentes en su constitución, lo que origina problemas técnicos para conservar íntegramente su morfología. Otro problema es la falta de espacio del edificio central del MNCN-CSIC.

Esta tesis se planteó como objetivos:

- Investigar las características físicas y las metodologías y materiales aplicados en la configuración de las piezas que conforman la colección de Aves y Mamíferos del MNCN y establecer pautas de conservación y recuperación de las mismas.
- Recopilar información sobre diversas formas y técnicas de preparación y naturalización de las piezas, a fin de conocer la naturaleza de los especímenes y los criterios de elaboración empleados en las diferentes épocas; de este modo, podrán determinarse las posibles patologías que pudieran padecer los ejemplares.



Tres plumas de guacamayo. La del centro es real, las de los lados son imitaciones en resinas plásticas realizadas por Rita Gil Macarrón

- Generar pautas de intervención, aplicando procedimientos de restauración ya existentes por una parte, pero también implementando otros nuevos, ya que algunos tratamientos están aún por estudiarse y deben ser desarrollados, debido a la complejidad de este tipo de bienes culturales.

Como principales resultados de la misma hay que señalar que es fundamental para documentar un espécimen, datarlo y, por lo tanto, entender cómo debe ser intervenido, respetando principalmente su historicidad. El conocimiento de la morfología, comportamientos y “hábitos” de aves y mamíferos es vital a la hora de conservar e intervenir un animal montado, evitando una mala intervención restauradora.

La documentación detallada de las restauraciones debe abarcar también el estado inicial de las piezas, los productos de conservación, las

pinturas utilizadas, los pegamentos, etc. Hasta el momento ha sido insuficiente en la mayoría de las restauraciones realizadas hasta la fecha en el MNCN-CSIC.

Al restaurar un ejemplar, eliminar las restauraciones previas, como se ha hecho, sin la documentación oportuna, significa la pérdida de historicidad del ejemplar y complica enormemente su restauración.

Así mismo, el conocimiento de los materiales constituyentes de las naturalizaciones es uno de los aspectos más importantes. Debe conocerse su naturaleza para entender su comportamiento frente a los agentes de deterioro y, de este modo, acometer de manera adecuada tareas de conservación. En este sentido, hay que tener en cuenta cómo están trabajados diversos materiales orgánicos en otros sectores como por ejemplo los etnográficos, ya que algunos tratamientos empleados en dichas colecciones podrán tomarse como ejemplo en las piezas naturalizadas.

Todas las tareas de restauración deben cumplir en la medida de lo posible los principios básicos contemplados para cualquier operación de este tipo: reversibilidad (retratabilidad), compatibilidad y en lo posible reconocibilidad.

Por otra parte, frente al tipo de intervenciones que frecuentemente se han puesto en práctica en el MNCN-CSIC, incluso en época reciente, plantear intervenciones respetuosas con el original que ya se están llevando a cabo en otros museos del mundo.



Distribución y estructura de las comunidades de escarabeidos coprófagos (Coleoptera, Scarabaeoidea) a lo largo de gradientes de altitud

Verónica R. Espinoza Zaruma

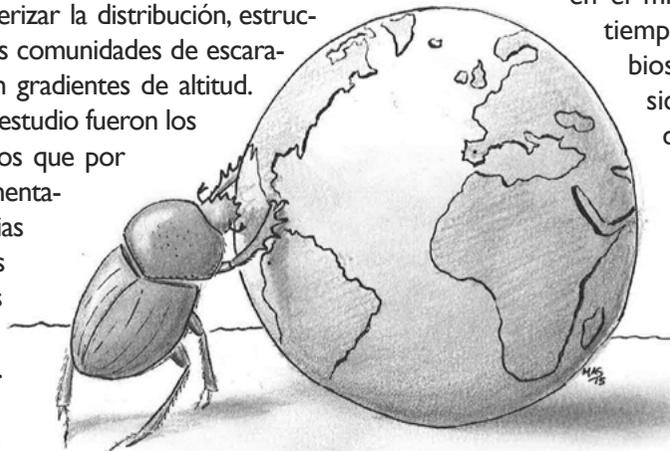
Director: Joaquín Hortal y Francisco J. Cabrero Sañudo

Universidad Complutense de Madrid

Enero 2016

Una pregunta clave en Ecología y Biogeografía es determinar cómo se organizan las especies en el espacio y el tiempo. Factores como las condiciones climáticas, el hábitat, la disponibilidad de recurso y/o la interacción con otras especies determinan la distribución y diversidad de las especies así como la estructura y composición de las comunidades. Estudiar los ecosistemas de montaña es como realizar un experimento natural de la respuesta de las comunidades y sus ecosistemas a los cambios de diversidad de especies en cortas distancias espaciales. El objetivo de la tesis fue caracterizar la distribución, estructura y fenología de las comunidades de escarabeidos coprófagos en gradientes de altitud.

Para ello el grupo de estudio fueron los escarabajos coprófagos que por sus hábitos de alimentación desempeñan varias funciones ecológicas y son considerados como indicadores de calidad de ambiente. Estudiamos dos gradientes de altitud en



distintas zonas geográficas: a) zona mediterránea-templada en la sierra de Guadarrama (Madrid, España) y b) zona tropical en las estribaciones orientales de la cordillera de los Andes (Napo, Ecuador).

Consideramos las relaciones fenológicas tanto a nivel de especie como de comunidad de los escarabajos coprófagos en función de dos factores: elevación y estacionalidad. En la sierra de Guadarrama se registraron 70 especies de los tres grupos de Scarabaeoidea Paleárticos (39 Scarabaeidae, 5 Geotrupidae y 26 Aphodiidae). A nivel de especie las respuestas fenológicas presentaron variaciones en abundancia de manera discontinua a lo largo del gradiente en función de la estación. Las especies responden ante la altitud y la temperatura en función de si son generalistas o especialistas para uno o ambos factores encontrándose cuatro tipos de respuestas a los dos factores.

A nivel de comunidad mediante redes de co-ocurrencia (cuando las especies aparecen a la vez en el mismo espacio geográfico y tiempo) se estudiaron los cambios fenológicos en la composición y estructura a lo largo del gradiente de Guadarrama. Se obtuvieron seis módulos bien definidos fenológica y espacialmente. El nivel de estructuración espacial de estos módulos varía a lo largo del año presentándose una estratificación

vertical durante primavera, menor en otoño, seguidas de una desestructuración parcial en verano y completa en invierno. La desestructuración vertical está asociada a las condiciones climáticas severas que limitan la actividad a algunas especies generalistas distribuidas en todo el gradiente.

Por último, en Napo Ecuador se colectaron 2215 individuos pertenecientes a 14 géneros y 54 especies de la familia Scarabaeidae. El gradiente presenta varios picos locales de riqueza que generaron distintas estructuras anidadas. Estas estructuras desaparecen cuando se divide el gradiente altitudinal en bandas altitudinales, lo que permite identificar el recambio de especies con la elevación. Con el análisis de modularidad se identificó redes de co-ocurrencia con modularidad significativa tanto a nivel de localidad como a nivel de trampa.

En conclusión, las respuestas fenológicas de los escarabeidos coprófagos son diferentes a nivel de especies y comunidades. Pequeñas variaciones dentro de cada tipo de respuesta fenológica pueden dar lugar a diferentes estrategias de adaptación a los cambios: moverse, adaptarse o extinción local. Además, encontramos que el efecto puro de la temperatura en modelos de abundancia y factores ambientales fue bajo. Esto implica que las variaciones de temperatura tienen un impacto independiente, limitado a nivel de especie, asociado a variaciones de hábitat y estacionales. A pesar de ello, los ensamblajes de especies si se estratifican verticalmente, siguiendo las variaciones de temperatura a lo largo del año.



Variabilidad de la concentración de radón-222 como gas trazador de procesos geodinámicos en ambientes subterráneos

Miriam Álvarez Gallego

Directores: Sergio Sánchez Moral, Ángel Fernández Cortés y Soledad Cuezva

Universidad de Alcalá

Febrero 2016

En la presente Tesis Doctoral se ha realizado un estudio centrado en el radón (^{222}Rn) como gas trazador de diferentes procesos geodinámicos en ambientes subterráneos. Se han muestreado y analizado 8 cavidades subterráneas diferentes (Castañar de Ibor, Altamira, El Sidrón, El Pindal, Rull, Ardales, Ojo Guareña y la cueva Pintada de Gáldar), aunque son mayoría los resultados obtenidos en los estudios realizados en la cueva de Castañar de Ibor (Cáceres). Este enclave subterráneo es idóneo para el seguimiento del gas radón ya que presenta las mayores concentraciones de radón descritas hasta la fecha en España ($> 30 \text{ kBq/m}^3$), así como una marcada estacionalidad. El periodo de estudio se ha centrado entre los años 2011 a 2013, aunque se incluyen series de datos obtenidos hasta 2015.

El radón se caracteriza por ser un isótopo radiactivo per-

teneciente a los gases nobles con reactividad nula. Tales características intrínsecas le otorgan el potencial de gas trazador al no verse influenciado por acciones de naturaleza biológica, siendo de gran utilidad en el análisis de los flujos de intercambio de gases entre los 3 subsistemas (atmósfera exterior-suelo-cavidad subterránea) que constituyen el soporte de los ecosistemas kársticos. A lo largo de la Tesis se han analizado en detalle los factores que favorecen la acumulación de radón en el suelo y en las cavidades, entre los que destacan: 1) la lixiviación de elementos radiactivos desde la roca encajante al interior de la cavidad por acción de las aguas meteóricas, 2)



Cueva de Castañar de Ibor, Cáceres./ Miriam Álvarez

la relación de densidades del aire de la atmósfera subterránea y la externa, y 3) las variaciones de humedad y fenómenos de condensación que experimentan el suelo externo y el sistema poroso de la superficie de las rocas del interior de la cueva que provocan el aislamiento de las cavidad subterráneas.

Además, se han analizado los procesos asociados a la desgasificación (difusión versus advección) mediante el uso de series temporales y mapas espacio-temporales de las condiciones termohigrométricas y de las concentraciones de CO_2 en los 3 subsistemas (atmósfera exterior-suelo-cavidad). Asimismo, se incluye un estudio acerca del comportamiento de las cavidades subterráneas como sumideros de metano (CH_4) asociado a un alto grado de ionización del aire subterráneo en todas las cavidades muestreadas y su posible relación con la acumulación de gas radón en dichos ambientes subterráneos. Finalmente, en la cueva de Castañar de Ibor, se ha llevado un exhaustivo control y seguimiento de la concentración de radón y su evolución espacial y temporal con el fin de determinar las dosis efectivas que están recibiendo los trabajadores (guías e investigadores) y visitantes ocasionales (turistas), detectando así posibles desviaciones de los valores de referencia que no se ajusten a las recomendaciones y legislación en la materia. Como resultado se han determinado los tiempos máximos, dosis efectivas recibidas y recorridos óptimos en la cueva en cada momento del año.

