

Museos, colecciones científicas y ADN

Museums, scientific collections and DNA

Isabel Rey Fraile

Colección de Tejidos y ADN

Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC)

José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid

mcnrf3g@mncn.csic.es

PALABRAS CLAVE: Colecciones de Historia Natural, Biobanco, Ácidos nucleicos

KEYWORDS: Natural History collections, Biobank, Nucleic acids

RESUMEN

La mayor parte de las colecciones de Historia Natural están custodiadas en los museos de todo el mundo. Todo ese conjunto constituye un recurso irremplazable para los estudios encuadrados en el área de recursos naturales. En este trabajo se discute qué son y cómo están consideradas las colecciones científicas en la actualidad, desde las colecciones clásicas hasta las de tejidos y ADN. Se intenta enmarcar estas últimas como la evolución natural de los especímenes dentro de los museos, desde unos apuntes históricos de sus orígenes hasta finalizar con un ejemplo concreto: la colección de tejidos y ADN del MNCN.

ABSTRACT

Most Natural History collections are curated in museums all around the world. All together this is an extremely valuable asset for any study in the field of natural resources. In this article we address what and how are scientific collections considered in the present, from classic collections to DNA and tissue collections. The later are considered as a natural evolution from the traditional specimens collections in museums. A historical perspective is given and the tissues and DNA collection from the MNCN is presented as a case study.

1 INTRODUCCIÓN

Las colecciones de Historia Natural (CHN) existen en los museos desde el siglo XVIII, pero la aparición de las colecciones científicas, que intentaban plasmar de forma sistemática la variabilidad como origen de la especiación demostrada por Darwin y Wallace, se sitúa hacia mediados del siglo XIX. Se estima que en la actualidad hay aproximadamente 2.500 millones de especímenes y objetos de historia natural (DUCKWORTH *et al.*, 1993) en casi 6.500 colecciones

(MARES, 1993)¹. Un informe del Reino Unido señaló que había 104 millones de ejemplares de organismos en las 22 mayores colecciones de aquel territorio².

Desde mi punto de vista, las CHN son un conjunto de especímenes (completos o parciales) y objetos, extraídos de la naturaleza y tratados con diferentes técnicas de preservación para garantizar su permanencia y estabilidad en el tiempo, mantenidos como lotes, piezas únicas o por sus representaciones (incluidas las artísticas), en cualquier formato físico o digital (moldes, modelos, dibujos, grabados, fotografías), que se han acumulado en un periodo de tiempo concreto o a lo largo de la historia, que pueden seguir aumentando y que sirven, y han servido, para diversos fines (científicos, educativos, expositivos, patrimoniales). Además, se pueden incluir todos los utensilios, artefactos y herramientas necesarios para la captura, preparación y exhibición de los mismos y que se han utilizado en diversas épocas. Cada una de las piezas conservadas lleva asociados una serie de datos que la ubican en el tiempo y el espacio (medio natural) y la definen en la historia, pues contienen información sobre los sucesos que ha sufrido hasta llegar al depósito donde se custodian. Toda esa información es parte intrínseca del espécimen, como su forma, diseño o color y es así, desde esta visión conjunta, como debe de ser entendida una pieza de colección de un museo de Historia Natural.

Las CHN sirven para elaborar estudios científicos, garantizar la educación en Ciencias Naturales y contribuir a su divulgación, garantizar el conocimiento en el futuro del patrimonio biológico de épocas pasadas y, finalmente, por el simple placer de su contemplación.

Las características que diferencian las CHN del resto de las colecciones que forman el patrimonio cultural y científico (museos de arte o museos de ciencia y tecnología) son:

1. El volumen de especímenes que tiene que ser conservado y gestionado.
2. Su naturaleza, ya que las CHN se componen de objetos orgánicos son, en general, manufacturadas -ya sea su materia prima orgánica o inorgánica, por ejemplo, las colecciones de muebles que, pudiendo ser de materia orgánica como la madera, siempre han sido elaboradas por el hombre-.
3. La repetitividad de los ejemplares en las CHN, frente a la naturaleza de “objeto único e irrepetible” del resto de colecciones.

1. En lo que se refiere al volumen de piezas, podemos poner un ejemplo, si comparamos la colección custodiada por el Museo del Prado, formada por 25.000 obras, con la que alberga el MNCN, que llega casi a 8 millones de especímenes³.

1. Esta cifra varía dependiendo de la fuente. En <http://www.biorepositories.org/> se señalan 6.697 instituciones que han alojado o alojan CHN; esta base de datos inicialmente se abasteció con aproximadamente 7.000 acrónimos institucionales, compilados por el National Center for Biotechnology Information (NCBI) a partir de publicaciones, como por ejemplo las colecciones de insectos y arañas del mundo, publicada en 1993, o los directorios de repositorios, obtenidos del índice de Herbariorum (<http://sciweb.nybg.org/science2/IndexHerbariorum.asp>). El Global Biodiversity Information Facility (GBIF) [<http://www.gbif.org>] estima que por sí solas dichas colecciones contienen más de 2 billones de objetos.

2. House of Lords, Select Committee on Science and Technology, 2002. What on Earth? The Threat to the Science Underpinning Conservation, Session 2001-02, 3rd Report. HL Paper 118(i); en OECD (2008).

3. En la página web del Museo del Prado (<http://www.museodelprado.es/coleccion/historia/>) se puede leer: “La colección está formada por aproximadamente 7.600 pinturas, 1.000 esculturas, 4.800 estampas y 8.200 dibujos, además de un amplio número de

2. Las CHN, además de conservación preventiva, curativa y restauración, tienen que ser sometidas a técnicas de preparación para evitar su descomposición y permitir el estudio a diferentes niveles de organización (individuo, sistema, orgánico, histológico, celular o molecular). Para ello son necesarios procesos de fijación o disección, completa o parcial, que implican, dependiendo del grupo taxonómico del que se trate, evisceración, desollado, descarnado, limpieza, curtido, montaje y secado; además, hay que tener en cuenta que pueden ser sometidas a múltiples procesos para obtener preparaciones microscópicas, histológicas o citológicas, que pueden incluir o no tinciones específicas, o tratamientos con diferentes niveles de sofisticación dependiendo del desarrollo de determinadas técnicas, y de los objetivos finales para los que se conserva un ejemplar.

3. En las CHN, en general, de cada especie se conservan series de especímenes de la misma población, es decir, no se conserva un único espécimen, sino que se guarda un número más elevado, significativo a nivel estadístico, para verificar la variabilidad intra e interespecífica en un momento dado. Una CHN es más valiosa cuanto más material de referencia albergue con estas características (por ejemplo, en especies extinguidas, especies similares de diferentes procedencias y hábitats, o en series típicas). Mientras que en el resto de las colecciones casi siempre se trata de piezas únicas y que precisamente en eso radica su valor.

Aunque la casuística en colecciones es muy diferente, es imprescindible que no se olvide, sean de la naturaleza que sean, que hoy por hoy, en España están protegidas por la misma ley de patrimonio histórico de 1985.

2. COLECCIONES CIENTÍFICAS

La Real Academia Española define ‘colección’ como conjunto ordenado de cosas, por lo común de una misma clase y reunidas por su especial interés o valor. Las colecciones científicas se pueden definir como el conjunto de especímenes, completos o parciales (por ejemplo, genitalias, rádulas, muestras y preparaciones histológicas...), tratados con técnicas de preparación básicas o específicas, que son denominados de forma genérica material de referencia de un trabajo de investigación que puede haber sido publicado, dibujado o fotografiado, y que constituye el aval (*voucher*) de dicha investigación y el resguardo si se quiere comprobar, reanalizar o reutilizar para otra investigación posterior el mismo material.

Por lo tanto, son el conjunto de ejemplares colectados durante el desarrollo de proyectos de exploración o investigación, o bien son el resultado del acúmulo de muestras para una disciplina de investigación determinada y que, en conjunto, ha aportado un conocimiento concreto. Las colecciones científicas se han formado, en ocasiones, sin una finalidad clara de serlo, y solo son la consecuencia de un extenso trabajo, por ejemplo la colección de muestras histológicas de Cajal (GARCÍA-LÓPEZ *et al.*, 2010) o los bancos de tumores (MORENTE *et al.*, 2011) que se han formado por el acúmulo de biopsias realizadas a pacientes, donde cada preparación por separado forma parte de un expediente y resuelve un caso concreto, pero que en su conjunto (a nivel global) acreditan el conocimiento sobre una enfermedad determinada, con un volumen significativo a nivel estadístico, y

objetos de artes decorativas y documentos históricos. En la actualidad, el Museo exhibe en su propia sede algo más de 1.300 obras, mientras que alrededor de otras 3.100 (‘Prado disperso’) se encuentran, como depósito temporal, en diversos museos e instituciones oficiales...”, lo que suman un total de 21.600 obras.

que tal vez de otra forma no se podría haber conseguido; característica esta, muy importante en ciencia. También se pueden haber formado a lo largo del tiempo o de la vida de un especialista y a sus expensas, o a base de colectas de promociones de estudiantes, que al final, por donación, casualidad o suerte se localizan en museos, universidades o institutos de enseñanza secundaria.

En ocasiones su incremento no depende de donaciones, sino que está relacionado con la propia política de la colección, es decir, en función de la cobertura del ámbito de trabajo, de los efectivos que alberga y de las solicitudes de préstamos de material que no han podido ser satisfechas. Así, por ejemplo, pueden destinarse partidas económicas para hacer colectas específicas en áreas concretas o en hábitats determinados, o referidas a un grupo animal en particular.

Desde un punto de vista ético, el material muestreado, sea cual sea el grupo animal, ha de ser tratado con respeto, pues se ha extraído de la naturaleza en beneficio humano. Además, se ha invertido dinero, en gran proporción público, tanto en la obtención de las muestras como en la formación del personal que lo colecta, prepara y estudia y, por lo tanto, es patrimonio de la sociedad en general y de los países de los que se han obtenido los especímenes en particular (CBD, 1992; NAGOYA, 2011).

Como se puede leer en el informe final del OECD Global Science Forum (OECD, 2008) respecto a colecciones científicas, son parte integrante y esencial de la infraestructura de todos los países con empresas de investigación. Estas incluyen colecciones de plantas, animales, microbios, muestras biomédicas, rocas, minerales, núcleos de hielo, fósiles, artefactos humanos y otros diversos objetos de estudio científico, junto con sus datos; pero no lo son sólo colecciones de datos, bibliotecas u objetos de arte. En el mismo documento se define también el concepto de 'series de especímenes' como especímenes completos o parciales, sonidos, tejidos, compuestos químicos o moleculares.

Según este mismo documento (OECD, 2008) el progreso científico requiere la preservación, conservación y mantenimiento de las colecciones científicas por una variedad de razones entre las que se incluyen, sin perjuicio de muchas otras posibles, las siguientes:

- Mantener los especímenes de referencia para verificar los resultados del pasado.
- Proporcionar material de estudio para nuevas técnicas analíticas.
- Ofrecer un acceso rápido a muestras representativas de todo el mundo, incluyendo lugares remotos.
- Mantener el material que tiene un valor relacionado con el lugar específico de captura en el momento en que se recogió (especialmente las muestras del medio ambiente).
- Mantener el material de áreas, organismos o ecosistemas que ya no existen.
- Evitar el gasto de la toma de muestras de nuevo cuando se necesite con urgencia en el futuro.
- Calibrar procesos e instrumentos en diferentes laboratorios.
- Contribuir a la comprensión de la cultura compartida de la ciencia en todo el mundo, incluyendo la historia y el desarrollo de la misma.

Aunque el mantenimiento de colecciones científicas aporta beneficios a la sociedad, también tienen amenazas. El aumento del tamaño de las colecciones a lo largo del tiempo es constante (y esa sería la situación ideal), pero conlleva un gran dilema. Las colecciones crecen, mientras que el espacio que ocupan y los recursos para mantenerlas y conservarlas permanecen constantes, o incluso se reducen, lo cual dificulta la toma de decisiones acerca de qué material debe

o merece la pena ser conservado. Incluso si los recursos no son un problema, el espacio sí suele serlo y los objetivos o intereses de una institución pueden cambiar en el tiempo, lo que puede dar lugar a modificaciones en las prioridades del mantenimiento de ciertas colecciones.

Conservar los especímenes que ya han sido utilizados en una investigación puede parecer superfluo al cabo del tiempo o considerado obsoleto, pero hay que tener en cuenta que las investigaciones no son globales (no contemplan todos los aspectos posibles) o, lo que es lo mismo, un espécimen utilizado para tomar una serie de medidas o dibujos (p. ej. para identificar una especie) puede ser utilizado, años después, para estudiar su sistema reproductor o masticador o intentar extraer ADN; es por eso que en muchos aspectos siguen manteniendo información inédita, aunque a veces nos cueste apreciarlo. La ciencia siempre está evolucionando y descubriendo nuevas técnicas de análisis que pueden generar nueva información reevaluando objetos viejos, estudiados o no, que han permanecido almacenados incluso en mal estado o con potente deterioro, pero que son un recurso irremplazable (HAWKS, 1990), con más interés aún si los especímenes pertenecen a especies o poblaciones antiguas o extintas.

Por otro lado, la ingente cantidad de información que atesoran los millones de especímenes de las colecciones científicas todavía es inédita, pues solo se ha digitalizado un porcentaje muy pequeño, y esa información asociada puede aportar conocimiento a distintas disciplinas científicas. Estas razones, por sí solas, justificarían haber invertido tiempo, dinero y esfuerzo en su mantenimiento.

Desde un punto de vista económico los beneficios que se han obtenido, y que se pueden obtener a medio o largo plazo, no han sido ni tan siquiera evaluados, y el gasto en mantenimiento de las CHN supone un porcentaje irrisorio dentro del producto interior bruto (WHITING & ASSOCIATES, 1995; SUÁREZ & TSUTSUI, 2004).

Pero, si nos detenemos a pensarlo, en este momento de la historia existen más investigadores y científicos en Ciencias Naturales (o en cualquier otra rama de la ciencia) que en toda la historia de la humanidad (aunque solo sea en proporción con el número de habitantes del planeta). Si las grandes colecciones que actualmente conservamos desde el siglo XVIII se han formado gracias al trabajo de un porcentaje mucho menor de personas, ¿hasta dónde podemos llegar? Es el momento de reflexionar, de ver qué es exactamente lo que se conserva, de analizar cuánto más podemos acumular y en qué áreas han de incidir los mayores esfuerzos, de trabajar en conjunto mejorando las técnicas utilizadas (de colecta, preservación de especímenes y de datos, de estudio) y de cómo se puede garantizar mejor la custodia y el acceso a ejemplares e información. Hay que tener muy claras las razones de la necesidad de estudios en el presente y en el futuro y los motivos para coleccionar nuevos especímenes de unos u otros grupos animales y en qué hábitats puede ser prioritario hacerlo. Solo aunando el conocimiento profundo de las colecciones y la reflexión se podrá trabajar con el tesón necesario para superar las múltiples dificultades que supone cumplir con las regulaciones nacionales (permisos locales) e internacionales (ABS, CITES). El trabajo de campo llevado a cabo específicamente para fines taxonómicos sigue realizándose, en esencia, a pequeña escala y con técnicas y tecnologías casi siempre anticuadas, de bajo rendimiento, muy destructivas y no pocas veces con ciertas ilegalidades. Esta situación es insostenible en una época donde los organismos de financiación y las instituciones académicas esperan que los científicos cumplan con las normativas vigentes, sean rigurosos en todas las fases de su investigación y respondan de forma adecuada y ética a las exigencias de los nuevos tiempos que vivimos (BOUCHET, 2008). Finalmente, debemos estar en situación de garantizar,

como mínimo, que esos objetos reciben el tratamiento adecuado para su buena conservación y mantenimiento y que tanto los especímenes como su información sean lo más accesible posible a la comunidad científica o al personal autorizado que lo requiera.

Es muy común que las colecciones científicas hayan sido colecciones personales, es decir, los investigadores que las reunían no estaban amparados por instituciones de investigación o educación que se comprometieran, a la larga, a salvaguardarlas, de forma que el propio investigador optaba por cuidarlas y mantenerlas aunque muchas veces, con el paso del tiempo, dichas colecciones quedaban desamparadas (es lo que se denomina ‘colecciones huérfanas’). En la actualidad se están intentando organizar, a escala nacional e internacional, mecanismos de coordinación entre las colecciones para alertar sobre estas colecciones huérfanas y dar así la oportunidad para que diferentes instituciones puedan obtener su custodia y preservarlas. Un reciente informe (SCIENCE AND TECHNOLOGY COMMITTEE, 2008) señaló que 97 de los 602 herbarios existentes en 1945 en Gran Bretaña actualmente han sido destruidos y se desconoce el paradero de otros 106; por lo que los ejemplares de 203 colecciones se han perdido para la ciencia para siempre.

Las colecciones de tejidos y ADN pueden considerarse un tipo de estas colecciones huérfanas, puesto que de forma habitual se originan bajo el auspicio de proyectos de investigación concretos que una vez finalizados a menudo ‘olvidan’ restos de muestras o extractos de ADN en el fondo de refrigeradores o congeladores. Este abandono ocasiona diferentes grados de disociación entre muestras y datos con los subsecuentes problemas derivados. Los responsables de tales investigaciones y los responsables de las instituciones que albergan las muestras, ajenos a estos problemas, no saben qué hacer, pues aún falta concienciación de su conservación como patrimonio genético, y desconocen la existencia de colecciones de tejidos y ADN que puedan custodiarlas. La garantía y el cuidado de las muestras debe estar bajo la responsabilidad de técnicos profesionales en las instituciones y las tareas deberían estar regidas por protocolos estandarizados desde el mismo momento de la colecta. Hay que tener en cuenta, además, que un elevado porcentaje de la financiación utilizada para los proyectos que generan estas colecciones suele ser público y, por tanto, las muestras han de ser consideradas patrimonio de la nación, de manera que la gestión del mismo debería ser entendida como una salvaguarda de la inversión de los estados. Teniendo en cuenta el punto de vista ético, la intervención de dichos técnicos podría contribuir a evitar el sacrificio, muchas veces innecesario y repetido, de organismos vivos, o al menos a reducirlo al mínimo imprescindible. También se debería considerar que al finalizar muchos proyectos de investigación de esta naturaleza lo único que queda en claro son las muestras, porque no se tiene ninguna garantía sobre la generación de publicaciones -y en suma de conocimiento- que es la única justificación aceptable para ese gasto público y para el sacrificio de seres vivos.

2.1. Colecciones clásicas

Las colecciones se pueden dividir, siempre artificialmente, de muchas maneras. Por ejemplo, dependiendo de su finalidad social, se pueden distinguir colecciones de exhibición, divulgación, didáctica o investigación. Pero también las podemos clasificar según una visión histórica, como clásicas o nuevas.

A las colecciones de tejidos y ADN tenemos tendencia a llamarlas nuevas colecciones, aunque tienen más de treinta años de existencia. Pero, en la

actualidad, este término también se usa para otras muchas colecciones, como fonotecas, que albergan sonidos animales o del medio natural, y mediatecas, que custodian documentos filmados sobre animales, plantas, ecosistemas o cualquier actividad que rodee la vida.

Denominamos colecciones clásicas a aquellas que custodian especímenes preservados con cualquiera de las técnicas empleadas en las disciplinas que han englobado las CHN hasta finales del siglo XX, por tanto principalmente zoológicas y botánicas. Históricamente se han organizado en base a los grupos animales que conservan y a sus técnicas de preservación. Básicamente los métodos de preservación se encuadran en dos grandes modos: en seco o en fluido.

Las colecciones en seco están constituidas por restos orgánicos de tejidos altamente mineralizados –como por ejemplo el hueso, las conchas o el endoesqueleto de los corales–, o con alto contenido de biopolímeros orgánicos que en contacto con el aire se endurecen o se secan, originando por ejemplo el exoesqueleto de artrópodos (insectos o algunos crustáceos), las capas de protección de las semillas o la estructura de sostén de la madera. En algunos casos, este tipo de conservación requiere técnicas de preparación para eliminar, fijar o secar las partes no mineralizadas o no endurecidas que puedan deteriorarse. Las pieles de mamíferos, aves, reptiles, anfibios y peces se pueden procesar con numerosas técnicas de curtido y se pueden secar bien con forma de huso o planas (para conseguir que ocupen el menor espacio posible) o bien sobre moldes contruidos de muy variados materiales para intentar recrear el aspecto del animal en vida. Las obras de naturalización o taxidermia son consideradas por ello la manifestación estética de un artista y por lo tanto se deberían mantener sin intervenciones, puesto que no solo deben ser consideradas como colección científica sino como verdaderas obras de arte.

Las colecciones en fluido son aquellas que utilizan, como técnicas de preservación, diferentes disoluciones de reactivos químicos, componentes orgánicos o inorgánicos disueltos en agua que consiguen fijar y mantener en el tiempo las estructuras celulares e histológicas (WAGSTAFFE & FIDLER, 1955, 1968; ROGERS *et al.*, 1989; CALVO, 1994; MARTÍN MATEO, 1994).

Las colecciones botánicas están compuestas básicamente por herbarios de plantas secas, semillas o madera (xilarios). Las plantas se secan para evitar su putrefacción y se disponen en plano, para optimizar el espacio dedicado a su almacenamiento (LOREA & RIBA, 1990; GOLD *et al.*, 2004).

2.2. *Biobancos*

El siglo XX descubrió nuevas formas de estudio de los especímenes de las CHN, utilizando técnicas de trabajo ya aplicadas en disciplinas como la histología, la inmunología o la biología molecular. En la década de los 70 estuvieron disponibles las herramientas necesarias para cortar, pegar y copiar el ADN (WATSON & BERRY, 2003), es decir, se descubrieron las enzimas de restricción que pueden cortar la molécula de ADN; ocurrió lo mismo con las enzimas que pueden ligar fragmentos y con la clonación⁴, por la cual se puede insertar un fragmento de ADN determinado en el plásmido de bacterias inocuas, que al reproducirse multiplicará la misma ‘copia’ hasta obtener suficiente cantidad para que pueda ser

4. ‘Clonación’ es el término que se utiliza para definir la técnica explicada, no confundir, pues también se aplica cuando se habla de las técnicas de clonación de animales enteros.

manipulado. Pero la conquista más significativa fue el desarrollo de métodos para descifrar la secuencia de nucleótidos del ADN.

Este hecho, unido al conocimiento de que es en esta molécula donde radica la información que genera un individuo y donde se almacenan las diferencias o cambios (mutaciones) que provocan la variabilidad y las diferencias específicas, ha provocado un uso extensivo para intentar dar respuesta a problemas biológicos de taxonomía (<http://www.barcodeoflife.org/>) y filogenia (<http://tolweb.org/tree/>) o para intentar observar patrones de microevolución y macroevolución, entre otras muchas aplicaciones. Por otro lado, también es el siglo donde se sistematiza la búsqueda de componentes bioactivos naturales localizados en plantas y animales con interés para la biotecnología (SUKHWANI, 1995; BHAKUNI & RAWAT, 2005; RAJA *et al.*, 2010).

Además, es el siglo en que se toma conciencia de la necesidad de proteger el medio, la biodiversidad y, en mayor medida, las especies que garantizan nuestro alimento básico (bancos de germoplasma o bancos de semillas). Asimismo, se ha demostrado que numerosos reactivos, aunque fabricados y utilizados con la mejor intención, son altamente perjudiciales para la salud humana o para la vida de determinados ecosistemas, desde el DDT hasta el bisphenol A (BPA), al igual que la existencia de otros contaminantes producidos por la sobreexplotación de recursos (minería o residuos químicos); estos hechos crean la necesidad de bancos medioambientales.

Como consecuencia de todo lo anterior han aparecido, durante los últimos cuarenta años del siglo pasado, nuevas colecciones muy diversas, que han sido denominadas de forma genérica 'biobancos': colecciones de tejidos, bancos de germoplasma, bancos de recursos genéticos, biorrepositorios, etc. Todos estos términos se han empleado tanto en ciencias biológicas como en disciplinas médicas y esto ha provocado cierta confusión entre los propios investigadores (WATSON & BARNES, 2011) y en la sociedad en general. *A priori*, todas se consideran bajo un mismo paraguas porque conservan tejidos o moléculas orgánicas o inorgánicas congeladas; pero su finalidad y espectro de posibilidades puede ser muy diferente, desde un biobanco de sangre de cordón umbilical hasta uno de muestras ambientales cuya finalidad es localizar contaminantes químicos. Como es fácil entender, esto implica que las técnicas de conservación, los materiales utilizados y los protocolos de trabajo han de ser diferentes y ocasionalmente excluyentes. Además, en muchos casos se han tenido que desarrollar procesos de gestión y mantenimiento para trabajar con dichas muestras. Las CHN que han conservado colecciones durante decenas de años presentan una importante ventaja, pues la metodología y estandarización de trabajo en gestión y mantenimiento está muy desarrollada y la única diferencia sustancial ha sido el modo de conservación.

Esta confusión del uso del término biobanco también se la ha planteado incluso dentro de la International Society for Biological and Environmental Repositories (ISBER) (<http://www.isber.org/>). Para conocer la opinión de los profesionales que integran este diverso universo se realizó una encuesta (HEWITT & WATSON, 2012) y las conclusiones generales que se obtuvieron fueron tres. La primera fue que los biobancos incluyen colecciones de muestras humanas y de animales, plantas y microorganismos; la segunda que, para ser considerado como tal, los datos y las muestras deben estar asociados por una base de datos de respaldo y, la tercera, que el trabajo con la colección debe seguir estándares profesionales. Además, se incluyeron recomendaciones para que los diferentes tipos de biobancos fueran definidos por sus áreas de interés, por el tipo de tejido

o por la especie, facilitando así que los investigadores y usuarios localicen las muestras biológicas adecuadas para sus necesidades.

A modo de ejemplo, se pueden clasificar en humanos o no humanos (lo cual excluye un gran número de posibilidades adicionales) pues se podría discernir entre terapéutico o de investigación. Si la finalidad del biobanco es terapéutica (injertos o donaciones) también pueden dividirse en medicina humana o veterinaria, y se pueden clasificar según el tipo de tejido o tipo de muestras (huesos, piel, progenitores hematopoyéticos, córneas, escleras, duramadre, paratiroides, membrana amniótica, semen, óvulos, embriones, cordón umbilical, tejido adiposo para obtención de células madre, etc).

Los biobancos no humanos de semen, óvulos, embriones o semillas (denominados genéricamente bancos de germoplasma), se pueden dividir en especies de interés económico (básicamente ganadero, agrícola o de criadores) y en especies amenazadas (por ejemplo el Banco de Germoplasma y Tejidos de Especies Silvestres Amenazadas (BanGES) del MNCN).

También podemos encontrar biobancos de cultivos (citológicos) de microorganismos (virus, bacterias, protistas, algas, hongos) y ambientales (muestras de tejidos de diferentes organismos frecuentes en medios contaminados o humanos expuestos a la contaminación, por ejemplo, donde el interés no es el organismo sino los contaminantes acumulados en los tejidos). Por último los biobancos conservados en museos o jardines botánicos (para estudios de biodiversidad o poblacionales).

Nótese que en cualquiera de las frases anteriores la palabra biobanco podría sustituirse por colección y se entendería lo mismo. Parece que la palabra 'biobanco' se inventó para dar un mayor interés a lo que se pretende conservar, o tal vez para evitar la confusión con el concepto clásico de colección de museo, o quizás, puede haberse utilizado como un término corto, de origen anglosajón, que se emplea para comprender rápidamente de qué estamos hablando.

2.3. Colecciones de tejidos y ADN

Las colecciones de tejidos y ADN son las que se han formado para poder conservar muestras de tejidos y extraer moléculas orgánicas o inorgánicas concretas, ya sean proteínas (por ejemplo colágeno o enzimas) o ácidos nucleicos (ADN o ARN); y además custodiar todos los extractos o genomas obtenidos por diferentes disciplinas, por su valor potencial y porque en conjunto forman un patrimonio genético único con el que comparar en la actualidad y en el futuro.

2.3.1. Recopilación histórica

Las colecciones de tejidos para usos moleculares comienzan a formarse en los albores del siglo XX. De hecho, la primera colección de tejidos, concretamente sangre, que se utilizó en trabajos de taxonomía y sistemática característicos de los museos, se descubre en los trabajos de George H. F. Nuttall (1862-1937), quién utilizó datos genéticos, aunque de forma indirecta, para obtener información sobre relaciones filogenéticas, comparando las características inmunológicas de las proteínas sanguíneas de ciertos primates, incluidos los humanos, con las de otros vertebrados, mucho antes de que la base molecular de la herencia hubiera sido determinada (NUTTALL, 1901a, 1901b; NUTTALL *et al.*, 1904). Para ello publicó un método muy sencillo (NUTTALL, 1901a) que, por su similitud a las

FTA card Whatman (SMITH & BURGOYNE, 2004) que se usan hoy en día, merece la pena incluir aquí:

“Blood may be collected from dead or living animals....The method consists in soaking up the blood (avoiding clots) upon strips of pure filter paper about 3 inches wide by 5 inches long....The strips of paper dry rapidly when suspended in the air...”

Desde finales de los años 1920 hasta los años 1960, el desarrollo de la taxonomía serológica se mantuvo en Estados Unidos con los trabajos de Alan A. Boyden (BOYDEN, 1963, 1969), el cual no solo comparó especies de vertebrados sino también crustáceos y creó un museo serológico para entender las relaciones entre las especies, donde pudo aplicar su perspectiva comparativa (STRASSER, 2010). Para que las colecciones del Museo Serológico de la Universidad de Rutgers crecieran, redactó y publicó instrucciones precisas de cómo recoger la sangre (BOYDEN, 1953; GISLER, 2010). Con esta acción se vivió un cambio decisivo en la historia de las ciencias biológicas, ampliándose hacia el nivel molecular, y se la reconoce como la primera colección organizada formalmente de tejidos desnaturalizados (DESSAUER & HAFNER, 1984).

Los trabajos sobre evolución molecular y sistemática molecular (GOODMAN *et al.*, 1975) fueron continuados por Morris Goodman utilizando las propiedades inmunológicas de las hemoglobinas por medio de una técnica conocida como inmunodifusión.

Durante las décadas de los 1970 y 1980 se coleccionaron muestras de animales y vegetales para realizar estudios de taxonomía y dilucidar relaciones filogenéticas entre diferentes grupos por medio de técnicas como la electroforesis de isoenzimas (SELANDER, 1970; AYALA *et al.*, 1972; NEVO, 1978) e hibridación ADN-ADN (SIBLEY & AHLQUIST, 1982, 1984; SIBLEY *et al.*, 1988); y también se recogieron muestras de tejido adiposo para estudios ecológicos y fisiológicos (KALABUKHOV, 1978).

Fuera del ámbito de los museos, desde el año 1961 se ha formado una enorme colección de sangre, conservada en las denominadas *Tarjetas Guthrie*. A principios de 1960 Robert Guthrie introdujo en los Estados Unidos la primera prueba neonatal para detectar la fenilcetonuria (PKU), una enfermedad progresiva y fatal para los niños pequeños (GONZÁLEZ & WILLIS, 2009). El programa nacional del Reino Unido para realizar esta prueba a todos los recién nacidos se introdujo en 1969, y fue seguido en 1981 por un programa similar para detectar el hipotiroidismo congénito con una sola muestra de sangre capilar recogida por punción del talón del bebe entre los 6 y 14 días de edad. Todas estas muestras se almacenan, generalmente secas, en un papel de filtro especial (DEZATEUX, 1998) y en la actualidad han sido utilizadas para extraer ADN (MAKOWSKI *et al.*, 1995, 1996, 1997; CAGGANA *et al.*, 1998; DEZATEUX, 1998; WONG *et al.*, 2008). Es interesante rescatar esta información puesto que, en la actualidad, uno de los métodos más utilizados para conservar muestras siguen siendo las manchas de sangre sobre papel de filtro (método eficaz, económico, fácil de obtener, transportar y conservar), la misma técnica utilizada ya por Nutall, hace más de un siglo. Ahora el papel de filtro que se utiliza está bajo patente y tiene nombre comercial *FTA card Whatman* (SMITH & BURGOYNE, 2004).

La investigación basada en ácidos nucleicos llegó a todas las disciplinas, incluidas algunas clásicas como la taxonomía y la filogenia, cobijadas en gran medida en los museos de Historia Natural (DESSAUER & HAFNER, 1984; DESSAUER *et al.*, 1990; SHERWIN, 1991; THOMAS, 1994). Estas nuevas colecciones, mantenidas principalmente congeladas, se han consolidado como una importante

infraestructura científica en los albores del siglo XXI (PRENDINI *et al.*, 2002; SAVOLAINEN *et al.*, 2006). Por poner un ejemplo concreto podemos fijarnos en la nueva Colección de Tejidos y ADN del MNCN (REY & DORDA, 2006).

3. LA COLECCIÓN DEL MNCN

La Colección de Tejidos y ADN del MNCN (CSIC) comenzó a gestarse en el año 2000 y actualmente consta de más de 250.000 muestras conservadas mediante diferentes métodos, según el modo de colecta y como medida de seguridad (congeladas, en etanol o liofilizadas); esas muestras son básicamente empleadas para fines taxonómicos y filogenéticos, genética de poblaciones y conservación, ecología evolutiva y del comportamiento.

Siendo Montserrat Gomendio directora del Museo, a iniciativa suya y de Ignacio de la Riva, vicedirector de investigación en aquel entonces, se constituye lo que se denominó Banco de Recursos Genéticos. En el año 2002, el nuevo director, Alfonso Navas, con Miguel Ángel López Barba como gerente, apoyaron la iniciativa de la dirección anterior y dicho banco genético se consolidó como una auténtica colección más dentro del MNCN, se integró en la Vicedirección de Colecciones y pasó a denominarse Colección de Tejidos y ADN, nombre con el que actualmente se la sigue conociendo. Desde entonces se ha hecho realidad esa colección gracias, por un lado, al empeño y profesionalidad del personal técnico que le fue asignado en su momento; por otro, a la aportación económica del CSIC y, en tercer lugar, a la colaboración de investigadores del MNCN, quienes, entre otras cosas, participaron en la solicitud de financiación (a través de Acciones Especiales o Complementarias de la Dirección General de Investigación del antiguo Ministerio de Educación y Ciencia) para complementar los fondos necesarios para dicha consolidación. En la actualidad se estima que está compuesta por más de 250.000 muestras de tejidos animales y de ADN, con 78.000 muestras catalogadas, pertenecientes a más de 55.000 especímenes y más de 4.900 especies de vertebrados e invertebrados. A modo de indicación, y solo con el ánimo de ejemplificar la velocidad de crecimiento de este tipo de colección, cabe decir que en trece años de existencia ha superado los efectivos que tienen colecciones con más de cien años de antigüedad en el MNCN, como son herpetología o aves y mamíferos. Informatizar, ordenar y ubicar las muestras para evitar su deterioro o menoscabo, así como pérdidas de información, supone una ardua tarea diaria y una carrera contra el tiempo.

La mayor parte de las muestras con las que se constituyó la Colección tenía su origen en distintos proyectos de investigación dedicados a sistemática molecular y genética de poblaciones realizados en las últimas décadas del siglo XX (desde mediados de los años 1980), que utilizaron diversos tejidos de diferentes especies de vertebrados e invertebrados, los cuales fueron acumulándose en una serie de congeladores. No conocemos cuántas muestras se obtuvieron durante este tiempo, pero podían superar los 40.000 tubos que contenían tejidos completos, homogeneizados de proteínas y ADN de más de 1.000 especies animales recolectadas en España, algunos países de Europa y Sudamérica principalmente.

En la actualidad, gran parte del material que constituye la colección se continúa obteniendo de donaciones de especímenes utilizados en proyectos de investigación molecular, tanto de investigadores internos como externos al MNCN. Pero se añade material procedente de donaciones de centros de recuperación de fauna amenazada, de zoológicos y de Consejerías de Medio Ambiente de diferentes Comunidades Autónomas.

Estimamos que el volumen medio anual de donaciones que recibe esta colección es de 3.000 muestras. No se debe olvidar que muchos de estos tejidos han sido obtenidos bajo autorización expresa de los organismos de conservación correspondientes o autoridad CITES, puesto que pertenecen a especies en peligro de extinción o con problemas de conservación.

Por último, aunque en no menor medida, hay que mencionar las muestras obtenidas de los especímenes antiguos de colecciones clásicas. En la actualidad existen técnicas para extraer y amplificar ADN antiguo (*ancient DNA*) proveniente de ejemplares de hasta 200 años de antigüedad conservados en CHN, e incluso de ejemplares fósiles (WANDELER *et al.*, 2007). Dichas muestras añaden un increíble valor científico tanto a las colecciones moleculares como a las colecciones clásicas, revalorizándolas.

El interés de la colección se centra no sólo en la preservación del material a corto plazo sino también en su conservación en el tiempo y en la gestión de su información con el objetivo de maximizar su uso y ampliar y facilitar el acceso a la misma a toda la comunidad científica, puesto que son muchas las disciplinas a las que puede dar servicio. A día de hoy se han prestado más de 8.000 muestras, con las que se han obtenido secuencias de ADN que se han depositado en *Genbank* (NCBI) y se han usado al menos en más de 100 publicaciones científicas, incluidas las realizadas por el equipo de la colección (REY *et al.*, 2004; CAMACHO *et al.*, 2002, 2011, 2012, 2013).

La participación en proyectos europeos como Synthesys y Edit ha servido para homogeneizar y estandarizar los métodos de trabajo y comprobar que el nivel de calidad de la Colección está en consonancia con otras europeas semejantes. Además, se han impartido cursos de técnicas moleculares y de conservación de colecciones para facilitar la transferencia de conocimientos, tanto para personal del MNCN, del CSIC o externo. Asimismo, la Colección colabora con las autoridades de protección del medio ambiente y con las autoridades administrativas que controlan el comercio de especies en peligro de extinción o vulnerables, emitiendo informes técnicos y peritajes.

4. CONCLUSIÓN

Hemos intentado efectuar una breve historia de las CHN, centrándonos en especial en los biobancos y, al mismo tiempo, hemos ido viendo la evolución sufrida por las mismas. En la actualidad, los repositorios de tejidos y ADN (en lo que respecta a nuestro ámbito) son, a pesar de no ser tan nuevas, las infraestructuras más modernas utilizadas para estudios característicos de las CHN y, aunque en ocasiones podemos intuirlos, desconocemos los cambios que sufrirán con el devenir del tiempo y el alcance y los beneficios que los usos futuros pueden reportar, pero en cualquier caso debemos trabajar para que se aúnen tres realidades: conservación, estudio y visión de futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- AYALA, F. J., POWELL, J. R., TRACEY, M. L., MOURAO, C. A. & PÉREZ-SALAS, S. 1972. Enzyme variability in the *Drosophila willistoni* group. 4. Genic variation in natural populations of *Drosophila willistoni*. *Genetics*, **70** (1): 113-139.
- BHAKUNI, D. S. & RAWAT, D. S. 2005. *Bioactive marine natural products*. 382 págs. Springer. New York & London.

- BOUCHET, P. 2008. Field work: The need to scale up and adjust to new constraints. *In: Future Trends of Taxonomy*. pág. 9. European Distribution Institute of Taxonomy. Carvoeiro.
- BOYDEN, A. 1953. Zoological collecting expeditions and the salvage of animal bloods for comparative serology. *Science*, **118** (3054): 57-58.
- 1963. Precipitin testing and classification. *Systematic Biology*, **12** (1): 1-7.
- 1969. Homology and analogy. *Science*, **164** (3878): 455-456.
- CAGGANA, M., CONROY, J. M. & PASS, K. A. 1998. Rapid, efficient method for multiplex amplification from filter paper. *Human Mutation*, **11** (5): 404-409.
- CALVO, M. 1994. *Manual de preparación y conservación de invertebrados no artrópodos*. 140 págs. Serie de manuales técnicos de museología, número 2. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- CAMACHO, A. I., DORDA, B. A. & REY, I., 2011. Identifying cryptic speciation across groundwater populations: first COI sequences of Bathynellidae (Crustacea, Syncarida). *Graellsia*, **67** (1): 7-12.
- 2012. Undisclosed taxonomic diversity of Bathynellacea (Malacostraca: Syncarida) in the Iberian Peninsula revealed by molecular data. *Journal of Crustacean Biology*, **32** (5): 816-826.
- 2013. Old and new taxonomic tools: description of a new genus and two new species of Bathynellidae from Spain with morphological and molecular characters. *Journal of Natural History*, **47** (21/22): 1393-1420.
- CAMACHO, A. I., REY, I., DORDA, B. A., MACHORDOM, A. & VALDECASAS, A. G. 2002. A note on the systematic position of the Bathynellacea (Crustacea, Malacostraca) using molecular evidence. *Contributions to Zoology*, **71** (4): 123-129.
- CBD. 1992. *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. 30 págs. United Nations Environment Programme. Rio de Janeiro.
- DESSAUER, H. C., COLE, C. J. & HAFNER, M. S. 1990. Collection and storage of tissues. *In: D.M. HILLIS & C. P. MORITZ, Eds. Molecular systematics*. págs. 25-42. Sinauer Associates Inc. Sunderland.
- DESSAUER, H. C. & HAFNER, M. S. 1984. *Collections of frozen tissues: value, management, field and laboratory procedures, and directory of existing collections*. 74 págs. Association of Systematics Collections & Museum of Natural History, University of Kansas. Lawrence.
- DEZATEUX, C. 1998. Evaluating newborn screening programmes based on dried blood spots: future challenges. *British Medical Bulletin*, **54** (4): 877-890.
- DIÉGUEZ, C. (Ed.). 1994. *Manual de colecta preparación y conservación de microfósiles para colecciones científicas*. 132 págs. Serie de manuales técnicos de museología, número 4. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- DUCKWORTH, W. D., GENOWAYS, H. H. & ROSE, C. L. 1993. *Preserving natural science collections: chronicle of our environmental heritage*. 140 págs. National Institute for the Conservation of Cultural Property, Inc., Washington, DC.
- GARCÍA-LÓPEZ, P., GARCÍA-MARÍN, V. & FREIRE, M. 2010. The histological slides and drawings of Cajal. *Frontiers in Neuroanatomy*, **4**: 9.
- GISLER, P. 2010. Instructions between the field and the lab: collecting blood for the 'Serological Museum' in the 1950s. *Museum and Society*, **8** (2): 90-111.
- GOLD, K., LEÓN-LOBOS, P. & WAY, M. 2004. *Manual de recolección de semillas de plantas silvestres, para conservación a largo plazo y restauración*

- ecológica*. 62 págs. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile.
- GONZALEZ, J. & WILLIS, M. S. 2009. Robert Guthrie, MD, PhD. *Lab Medicine*, **40** (12): 748-749.
- GOODMAN, M., MOORE, G. W. & MATSUDA, G. 1975. Darwinian evolution in the genealogy of haemoglobin. *Nature*, **253** (5493): 603-608.
- HAWKS, C. A. 1990. Recent advances in the conservation of natural science collections. In: E. M. HERHOLD, Ed. *Natural History Collections: Their Management and Value*. págs. 53-60. Transvaal Museum Special Publication. Pretoria.
- HEWITT, R. & WATSON, P. 2012. *The Definition of Biobank. Joint Congress of ESBB & Spanish National Biobank Network*. Granada, Spain. 7-9 November. <<http://www.esbb.org/granada>> [Consulta: 19-06-2013].
- KALABUKHOV, N. I. 1978. Sampling and preservation of samples of mammalian fatty tissue for ecological and physiological studies. *Soviet Journal of Ecology*, **9** (4): 340-343.
- LOREA, F. & RIBA, R. 1990. *Guía para la recolección y preparación de ejemplares para herbario de pteridofitas*. 12 págs. Consejo Nacional de la Flora de México, AC. México D. F.
- MAKOWSKI, G. S., DAVIS, E. L., ASLANZADEH, J. & HOPFER, S. M. 1995. Enhanced direct amplification of Guthrie card DNA following selective elution of PCR inhibitors. *Nucleic Acids Research*, **23** (18): 3788-3789.
- MAKOWSKI, G. S., DAVIS, E. L. & HOPFER, S. M., 1996. The effect of storage on Guthrie cards: implications for deoxyribonucleic acid amplification. *Annals of Clinical & Laboratory Science*, **26** (5): 458-469.
- 1997. Amplification of Guthrie card DNA: Effect of guanidine thiocyanate on binding of natural whole blood PCR inhibitors. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, **11** (2): 87-93.
- MARES, M.A. 1993. Natural history museums: bridging the past and the future. In: C.L. ROSE, S.L. WILLIAMS & J. GISBERT (Eds.) *Current Issues, Initiatives, and Future Directions for the Preservation and Conservation of Natural History Collections. Vol. III*. págs. 367-404. Consejería de Educación y Cultura, Comunidad de Madrid. Madrid.
- MARTÍN MATEO, M^a. P. 1994. *Manual de recolección y preparación de ectoparásitos. (Malófagos, anopluros, sifonápteros y ácaros)*. 80 págs. Serie de manuales técnicos de museología, número 3. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- MORENTE, M. M., CERECEDA, L., LUNA-CRESPO, F. & ARTIGA, M^a. J. 2011. Managing a Biobank Network. *Biopreservation and Biobanking*, **9** (2): 187-190.
- NAGOYA, C. P. d. 2011. *Protocolo de Nagoya sobre acceso a los recursos genéticos y participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de su utilización al Convenio sobre la Diversidad Biológica*. 26 págs. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). Montreal.
- NEVO, E. 1978. Genetic variation in natural populations: Patterns and theory. *Theoretical Population Biology*, **13** (1): 121-177.
- NUTTALL, G. H. F. 1901a. A further note on the biological test for blood and its importance in zoological classification. *British Medical Journal*, **2** (2124): 669-669.

- 1901b. The new biological test for blood in relation to zoological classification. *Proceedings of the Royal Society of London*, **69** (451-458): 150-153.
- NUTTALL, G. H. F., GRAHAM-SMITH, G. S. & STRANGWAYS, T. S. P. 1904. *Blood immunity and blood relationship; a demonstration of certain blood-relationships amongst animals by means of the precipitin test for blood*. 444 págs. University Press. Cambridge.
- OECD. 2008. *OECD Global Science Forum Second Activity on Policy Issues Related to Scientific Research Collections*. 22 págs. Organization for Economic Cooperation and Development. Washington DC.
- PRENDINI, L., HANNER, R. & DE SALLE, R. 2002. Obtaining, storing and archiving specimens and tissue samples for use in molecular studies. In: R. DE SALLE, G. GIRIBET & W. WHEELER, Eds. *Techniques in molecular systematics and evolution*. págs. 176-248. Birkhaeuser Verlag. Basel, Boston & Berlin.
- RAJA, A., GAJALAKSHMI, P. & MOHAMED MAHROOP RAJA, M. 2010. Drugs from the natural bio sources for human disease. *International Journal of Pharmacology*, **6**: 360-363.
- REY, I., DORDA, B. A. 2006. Catálogo de las muestras de fauna de la Comunidad de Madrid conservadas en la Colección de Tejidos y ADN del MNCN *Graellsia*, **62** (número extraordinario): 175-200.
- REY, I., DORDA, B. A. & VALDECASAS, A. G. 2004. Traditional water mite fixatives and their compatibility with later DNA studies. *Experimental and Applied Acarology*, **34** (1-2): 59-65.
- ROGERS, S. P., SCHMIDT, M. A. & GUTEBIER, T. 1989. *An Annotated Bibliography on Preparation, Taxidermy and Collection Management of Vertebrates with Emphasis on Birds*. 189 págs. Carnegie Museum of Natural History. Pittsburg.
- SAVOLAINEN, V. & CHASE, M. W. 2006. What DNA can - and cannot - be used for. In: V. SAVOLAINEN, M.P. POWELL, K. DAVIS, K., G. REEVES & A. CORTHALS Eds. *DNA and tissue banking for biodiversity and conservation: theory, practice and uses*. págs. 2-5. Kew Publishing. Kew.
- SCIENCE AND TECHNOLOGY COMMITTEE. 2008. *Systematics and Taxonomy: Follow-up. Report with evidence. 5th Report of Session 2007-08*. 330 págs. Authority of The House of Lords. London.
- SELANDER, R. K. 1970. Behavior and Genetic Variation in Natural Populations. *American Zoologist*, **10** (1): 53-66.
- SHERWIN, W. B. 1991. Collecting mammalian tissue and data for genetic studies. *Mammal Review*, **21** (1): 21-30.
- SIBLEY, C. & AHLQUIST, J. 1982. The relationships of the Australo-Papuan Scrub-Robins Drymodes as indicated by DNA-DNA hybridization. *Emu*, **82** (2): 101-105.
- 1984. The phylogeny of the hominoid primates, as indicated by DNA-DNA hybridization. *Journal of Molecular Evolution*, **20** (1): 2-15.
- SIBLEY, C. G., AHLQUIST, J. E. & MONROE, B. L. JR. 1988. A classification of the living birds of the world based on DNA-DNA hybridization studies. *The Auk*, **105** (3): 409-423.
- SMITH, L. M. & BURGOYNE, L. A. 2004. Collecting, archiving and processing DNA from wildlife samples using FTA® databasing paper. *BMC Ecology*, **4**: 11 págs. <<http://www.biomedcentral.com/1472-6785/4/4>> [Consulta: 01-07-2013].

- STRASSER, B. J. 2010. Laboratories, Museums, and the Comparative Perspective: Alan A. Boyden's Quest for Objectivity in Serological Taxonomy, 1924-1962. *Historical Studies in The Natural Sciences*, **40** (2): 149-182.
- SUÁREZ, A. V. & TSUTSUI, N. D. 2004. The Value of Museum Collections for Research and Society. *BioScience*, **54** (1): 66-74.
- SUKHWANI, A. 1995. *Patentes naturistas*. 285 págs. Oficina Española de Patentes y Marcas, Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- THOMAS, R. H. 1994. Analysis of DNA from natural history museum collections. *Experientia Supplementum* (Basel), **69**: 311-321.
- WAGSTAFFE, R. & FIDLER, J. H. 1955. *The preservation of natural history specimens. Vol. 1. Invertebrates*. 205 págs. Witherby. London.
- 1968. *The preservation of natural history specimens. Vol. 2. Vertebrates*. 404 págs. Witherby. London.
- WANDELER, P., HOECK, P. E. A. & KELLER, L. F. 2007. Back to the future: museum specimens in population genetics. *Trends in Ecology & Evolution*, **22** (12): 634-642.
- WATSON, P. H. & BARNES, R. O. 2011. A proposed schema for classifying human research biobanks. *Biopreservation and Biobanking*, **9** (4): 327-333.
- WATSON, J. D., & BERRY, A. (2003). *ADN: el secreto de la vida*. 474 págs. Taurus Ediciones. Barcelona.
- WHITING, P. G. & ASSOCIATES. 1995. *The Social and Economic Value of Scientific Collections*. 77 págs. The Outspan Group Inc. Canada.
- WONG, N. C., MORLEY, R., SAFFERY, R. & CRAIG, J. 2008. Archived Guthrie blood spots as a novel source for quantitative DNA methylation analysis. *Biotechniques*, **45** (4): 423-430.