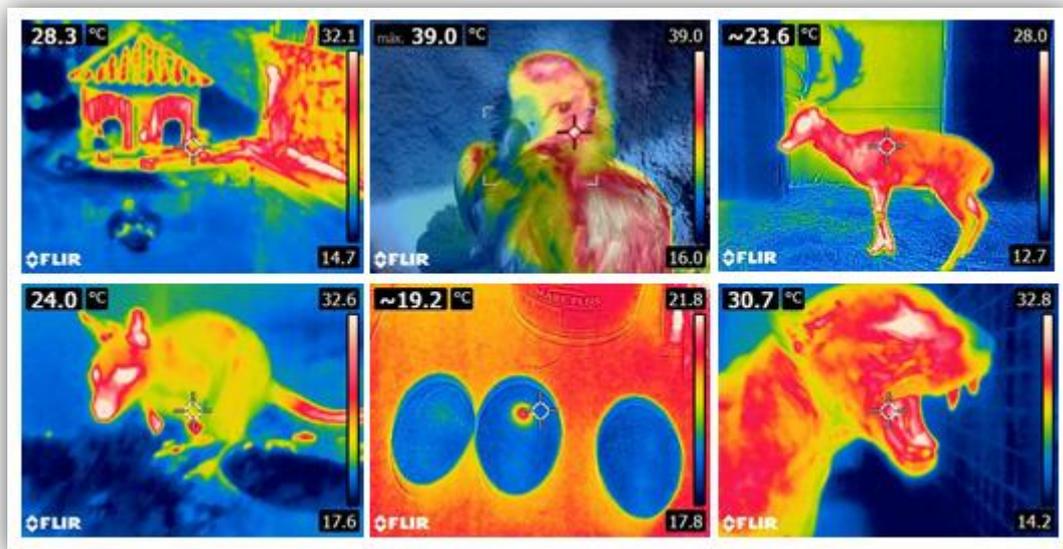


USOS Y APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA EN ZOOLÓGICOS PARA LA MEJORA DEL BIENESTAR ANIMAL.

Usefulness and application of thermography in zoological for animal welfare.

ZORAIDA RUANO DOMINGO



Tutores

ANA M^a GONZÁLEZ MARTÍNEZ - RAFAEL GUERRA CARO

CURSO 2015/2016

GRADO EN VETERINARIA



ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Conceptos	3
1.2 Historia de la termografía y de la termografía infrarroja	4
1.3 Fundamentos de la termografía óptica	5
1.4 Ventajas de la termografía óptica en veterinaria	7
1.5 Limitaciones de la termografía óptica	8
2. OBJETIVOS	9
3. DESARROLLO DEL TRABAJO	10
3.1 Métodos	10
<i>3.1.1 Búsqueda en bases de datos</i>	10
<i>3.1.2 Pruebas de aplicación de la termografía en el Zoológico de Córdoba</i>	11
3.2 Resultados	12
<i>3.2.1 Uso de la termografía óptica en el diagnóstico de gestación y evaluación de ciclos reproductivos</i>	13
<i>3.2.2 Uso de la termografía óptica en el estudio de la termorregulación con estrés ambiental</i>	17
<i>3.2.3 Uso de la termografía en el control y análisis de comportamientos</i>	20
<i>3.2.4 Uso de la termografía en el diagnóstico de patologías</i>	22
3.3 Compendio de los estudios realizados con termografía en zoológicos	25
3.4 Discusión sobre la repercusión del uso de la termografía en el bienestar animal	29
3.4.1 De las “cinco libertades” a los “cinco dominios”	29
3.4.2 Relación de los “cinco dominios” con los usos de la termografía en el zoológico.....	31
4. CONCLUSIONES	34
5. AGRADECIMIENTOS	35
6. BIBLIOGRAFÍA	36

Resumen

La termografía óptica es un método no invasivo que tiene más aplicación cada día en el campo de la veterinaria. Este proyecto se ha basado en buscar las distintas aplicaciones de la termografía en zoológicos, utilizada principalmente para el diagnóstico de gestación y estudios de termorregulación. También se ha empleado en estudios de comportamiento animal y diagnóstico de patologías en las distintas especies que pueden ocupar estos recintos. Finalmente, todo ha sido relacionado con el manejo de estos animales para mejorar su bienestar en cautividad.

Abstract

The thermography is a non-invasive test that has more application each day in the veterinary field. This project is based on finding the different applications of thermography at a zoo level, it's mainly used for pregnancy diagnosis and thermoregulation studies. The animal behavior and pathology diagnosis in different species that can occupy these areas have also being studied. Finally this has all been related to the handling of these animals to improve their welfare in captivity.

Palabras clave: termografía, aplicaciones, método no invasivo, zoológico, bienestar.

Keywords: thermography, applications, non-invasive tests, Zoo, wellness.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas que encontramos al trabajar con animales silvestres y salvajes que se encuentran en cautividad es el manejo y la interacción con ellos de forma que no se afecte su bienestar. El uso de un método no invasivo que permita medir problemas de salud y de bienestar en estos animales sin tener que pasar por una fase de manejo que aumente sus niveles de estrés puede ser clave en la administración de un centro de esta categoría. Ya que hasta ahora los métodos utilizados para medir el bienestar implican, cuando menos, manipulación del animal, cateterización o cirugía menor, la termografía nos va a ofrecer una gama de posibilidades para medir el bienestar y corregirlo sin tener que interaccionar con los individuos de las que los profesionales que trabajan en zoológicos van a poder disfrutar ampliamente, como ya se viene haciendo desde hace algunas décadas en centros de producción de distintas especies (Stewart *et al.*, 2005).

El siguiente trabajo se ha basado en la búsqueda de las aplicaciones de la cámara termográfica en animales que se encuentran en parques zoológicos y en relacionar dichas aplicaciones con el bienestar animal para su mejora en estos centros según los puntos marcados por las asociaciones de zoológicos a nivel nacional, continental e internacional, que son las encargadas de llevar a cabo una serie de objetivos entre los que se encuentra el mantenimiento del bienestar en los animales en cautividad. A nivel nacional se encuentra AIZA (Asociación Ibérica de Zoológicos y Acuarios) constituida en 1988; a nivel europeo está EAZA (European Association of Zoos and Aquaria), creada en 1992; y a nivel mundial, la más antigua de todas ellas, WAZA (World Association of Zoos and Aquariums), fundada en 1935 con el nombre de International Union of Directors of Zoological Gardens (IUDZG), adoptando en 1991 el actual nombre.

1.1 Conceptos

Como paso previo se deben de aclarar los siguientes conceptos que servirán para comprender los fundamentos de la técnica termográfica (“Conceptos iniciales sobre Termografía Infrarroja”, 2011):

Espectro electromagnético: es la distribución de la energía que conforman las longitudes de onda de las radiaciones electromagnéticas (Fig. 1).

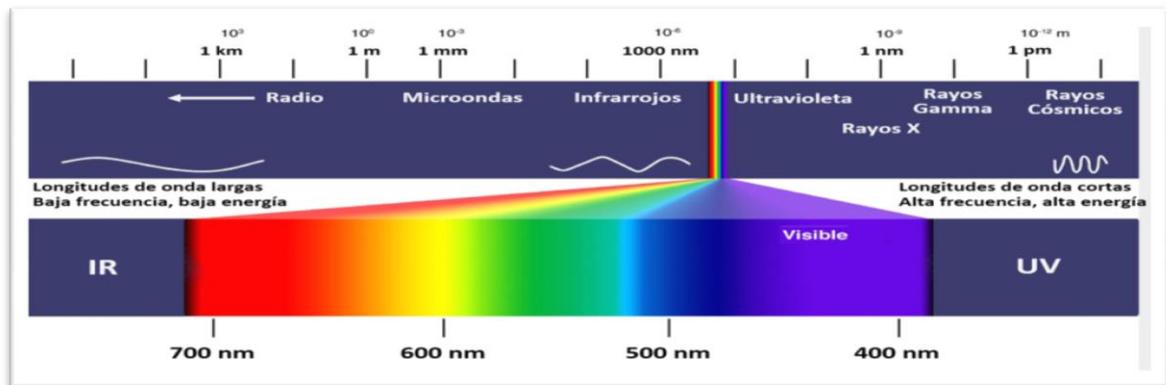


Figura 1: Representación del espectro electromagnético.

Radiación electromagnética: es la combinación de los campos eléctricos y magnéticos oscilantes que transportan energía a través del espacio de un lugar a otro.

Energía infrarroja: es un tipo de energía presente en los objetos en forma de energía térmica y que aparece en el espectro electromagnético siendo capaz de comportarse como la luz visible. Posee las propiedades de reflexión, refracción, absorción y puede ser emitida. Su longitud de onda va desde 0,7 a 1000 μm .

Termografía infrarroja: es la técnica que hace que se pueda transformar la energía infrarroja emitida por un objeto con una determinada energía térmica en una imagen visible para el ojo humano. En esta técnica es en lo que se fundamenta la cámara termográfica para su funcionalidad.

Termograma: es la imagen que crea la cámara termográfica al captar la energía infrarroja del cuerpo que se está enfocando y su alrededor.

Punto termográfico de referencia: es la zona del objeto o del cuerpo que mayor concordancia tiene la temperatura medida en su superficie con la temperatura general del mismo.

1.2 Historia de la termografía y de la termografía infrarroja.

Hace aproximadamente 2500 años **Hipócrates** dio el primer uso conocido a la termografía en medicina, aplicando placas de barro por diferentes zonas del cuerpo y observando la velocidad a la que se secaban (Otsuka y Togawa, 1997). Esta persona escribió: “En aquellas partes del cuerpo donde se asienta un exceso de calor o de frío, se descubrirá alguna enfermedad”, observando que las zonas de secado más rápido eran aquellas donde asentaban procesos inflamatorios (“El uso de la termografía en equinos”, 2011).

La termografía infrarroja comienza de la mano del astrónomo alemán **Sir Frederick William Herschel** (1738-1822), el cual, mientras buscaba un filtro apropiado para observar a través del telescopio, vio que determinados cristales coloreados daban mayor paso al calor solar que otros. Al darse cuenta de ello, Herschel realizó un diseño experimental para corroborar su hipótesis: hizo pasar la luz del sol por un prisma de cristal para formar el espectro del arco iris y fue midiendo en cada región la calorimetría del color, desde el violeta hasta el rojo, y comprobó que la temperatura iba en aumento de un color a otro (Fig. 2). En este mismo experimento, midió también el calor un poco más allá del rojo, y se dio cuenta de que la temperatura aumentaba aún más. A esta zona la llamó “calor oscuro” y a los rayos que daban lugar a esta zona y que eran invisibles para el ojo humano les dio el nombre de “rayos caloríficos”, que más tarde se conocerían con el nombre de rayos infrarrojos. Más tarde se descubrió que todo objeto cuya temperatura sea mayor de 0º Kelvin o -273º Celsius emite radiación infrarroja.

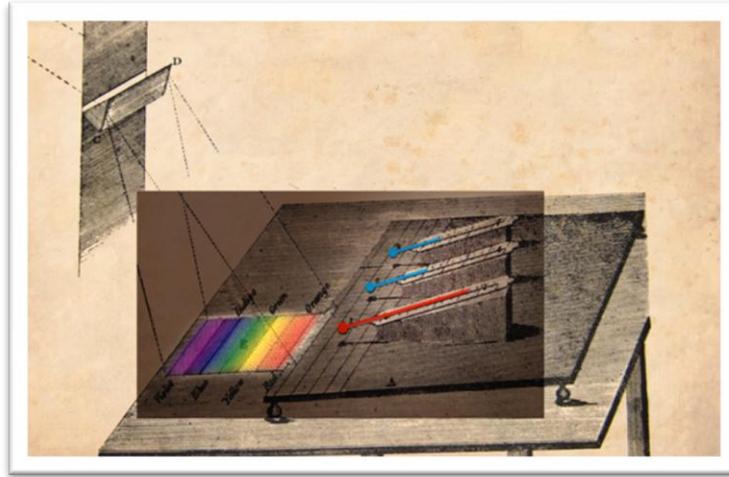


Figura 2: Experimento de Herschel sobre la refracción de la luz.

Sin embargo, no se empezó a extender su uso hasta mucho tiempo después, en 1958, cuando se desarrolló la primera cámara térmica con fines militares en Suecia, creada por la empresa **AGA** (actualmente llamada FLIR Systems). Esta cámara ofrecía una gran ventaja en combate, ya que permitía ver imágenes en la oscuridad, a través del agua, la nieve o del humo.

Siete años más tarde, en 1965, se empezó a producir esta herramienta con fines comerciales para la inspección de líneas de alta tensión (“Termografía: Una tecnología preparada para conquistar el mundo”, FLIR), y en 1973 se desarrolló la primera cámara termográfica portátil. Pero realmente, ésta no era de fácil y cómodo manejo, siendo en 1997 modificada al crear un detector de imágenes no refrigerado llamado microbolómetro, haciendo que la cámara fuese más económicamente asequible y disminuyendo sus averías. A partir de ese momento se extendió el uso de la cámara termográfica al sector industrial, médico y naturalista (Mariño, 2012).

1.3 Fundamentos de la termografía óptica.

La termografía se basa en la capacidad de los materiales tanto para absorber la energía térmica como para emitirla siempre que tengan una temperatura mayor al cero absoluto (-273 °K). Esta técnica aprovecha la radiación infrarroja como una variable de

medición de la temperatura. Este tipo de radiación, según la **Ley de Stefan-Boltzmann**, es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura superficial del objeto (“Guía de la termografía Infrarroja”, 2011).

$$W = \mu \times A \times T^4 \times (W/m^2)$$

W: energía radiante de un cuerpo.

μ : emisividad (entre 0 y 1). La podemos considerar como una constante de cada material.

A: constante de Stefan Boltzmann ($5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$).

T: temperatura absoluta del objeto.

La termografía es un método no invasivo que mide la radiación infrarroja emitida, reflejada y transmitida por un objeto.

Estas propiedades son explicadas de la siguiente manera (Fig. 3):

- *Emisividad (\mathcal{E})*: medición de la capacidad que tiene un material para propagar radiación térmica. Depende de la superficie, del material y de la temperatura del objeto. Su valor máximo es 1 y el mínimo es 0, aunque en la realidad el valor máximo nunca se llega a alcanzar.
- *Reflexión (ρ)*: cantidad de radiación infrarroja reflejada con respecto a la que ha recibido. Depende de los mismos parámetros que la propiedad anterior. Normalmente, las superficies lisas reflejan más cantidad de radiación que las rugosas, aunque sean de la misma composición. En cuanto al ángulo de reflexión es igual que el ángulo de incidencia, por lo que se debe medir la superficie desde distintas direcciones para poder corregir los artefactos que crea la propia reflexión.
- *Transmisión (τ)*: capacidad de un objeto de dejar pasar a través de él la radiación infrarroja. Depende del tipo de material y del grosor.

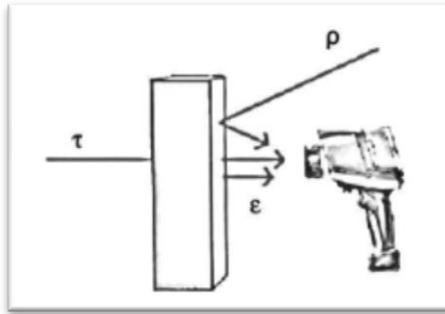


Figura 3: Propiedades de radiación infrarroja.

Por tanto, la radiación que vamos a captar con la cámara termográfica se compone de la radiación emitida, de la reflexión de la radiación que hay en el medio y de la transmisión de la radiación por el objeto. Sin embargo, ésta última es prácticamente inapreciable, por lo que no se toma en cuenta en la fórmula de la **Ley de radiación de Kirchhoff's**:

$$\varepsilon + \rho = 1$$

Según esto, a menor emisividad hay mayor reflexión que crea una menor precisión en la toma de temperaturas, por lo que hay que hacer más correcciones en torno a la reflexión de la superficie.

1.4 Ventajas de la termografía óptica en veterinaria.

Las principales ventajas del uso de la termografía en animales silvestres y salvajes derivan de la posibilidad de realizar un **estudio a distancia** de estas especies y su entorno. Al no ser necesario el contacto directo con el individuo estamos evitando tanto el estrés del animal como poner al técnico en una situación de riesgo, por tratar con un animal no domesticado y al resto de cuidadores frente a un manejo innecesario de éste (Stewart *et al.*, 2005).

Además, el uso de la cámara termográfica nos va a permitir realizar estudios y diagnósticos en una gran cantidad de animales con bastante **rapidez**, sumándole a eso el **bajo coste** que supone, ya que solo incluye el precio de la cámara y el mantenimiento, en caso de que sea necesario, debido a que las imágenes se toman en

un formato digital para el que no es necesario precisar de equipos adicionales tras su paso al ordenador.

Otra de sus ventajas proviene de su aplicación en el estudio de enfermedades y del medio que rodea al individuo, que nos va a permitir la **prevención de estados patológicos** al detectar anomalías en los patrones termográficos (Fowler y Miller, 2007). Así mismo, nos permitirá no tener que recurrir a ciertos tratamientos si descubrimos mediante termografía que la zona que pensábamos no es la afectada, o no es la afectación que en un primer momento se pensó.

1.5 Limitaciones de la termografía óptica.

Cuando se trabaja con termografía óptica nos encontramos con distintas limitaciones, principalmente cuando hablamos de animales de vida libre, en los cuales influyen entre otros los siguientes factores (Cilulko et al., 2012):

- *Condiciones ambientales:* los factores principales son la temperatura ambiente, la cual influirá en la temperatura reflejada; la radiación solar, que provocará visibles variaciones en la temperatura de la superficie del animal; la humedad relativa, que debe ser baja para que no se produzca condensación en la lente de la cámara, en el protector de la lente, o en el propio objeto o individuo que se mide; las corrientes de aire, que por convección desplazan el calor del objeto hacia zonas más frías; la polución ambiental, ya que ciertas materias que abundan en el aire puede interferir en la emisividad e incluso hay partículas que emiten rayos caloríficos.
- *Distancia del objeto o individuo a la cámara:* debe ser lo más corta posible cuantas más interferencias del ambiente puedan interferir en los resultados.
- *Campo de visión de la cámara:* si eliminamos la exposición a la radiación solar, el campo de visión de la cámara debería ser entre 50º y 90º como máximo.
- Plantas y otros objetos entre la cámara y el individuo que pueden ocultar a éste de nuestro objetivo.

- *Propiedades físicas de la capa del animal:* la capa de pelo, pluma o la propia piel del animal harán que la emisividad no sea la misma siempre, ya que cada especie posee un tipo distinto de pelaje (más grueso, más fino, más largo, más corto...) y de grosor de piel, e incluso el color de la capa afectará a este parámetro. También interfiere en gran medida la suciedad que pueda tener la capa en el momento de la observación termográfica.
- *Actividad física:* cuando un animal realiza una actividad física, su organismo produce una vasodilatación para disipar el calor generado al aumentar el ritmo cardíaco, lo que hará que la temperatura en su superficie también aumente.
- *Estrés:* produce cambios principalmente en la temperatura del ojo, aunque también puede afectar a la superficie de la piel (Stewart *et al.*, 2005).
- *Circulación sanguínea:* el uso de fármacos que afecten a la dilatación de los vasos o a la frecuencia cardíaca, de vendajes, férulas o cualquier objeto que presione el cuerpo del animal y que disminuya la circulación hacia una zona dará lugar a cambios en la temperatura de la zona afectada.
- *Comportamiento animal:* el hecho de trabajar con especies de vida salvaje, a pesar de los adaptados que puedan estar a las instalaciones y a la mirada del público, hace que ante el estímulo de la presencia de una persona o de un cambio en el ambiente se provoque un cambio fisiológico en su organismo que afecte a la medición.
- *Coste:* entraría en último lugar, ya que a pesar de ser una ventaja el solo tener que hacer una inversión económica en la cámara termográfica, ésta no deja de tener un alto precio al cual no todos los centros tienen acceso.

2. OBJETIVOS

Los objetivos planteados son los siguientes:

- Poner de relieve las aplicaciones de la termografía óptica en animales que habitan en parques zoológicos llevando a cabo una revisión bibliográfica a fondo sobre este tema.

- Exponer ejemplos de las aplicaciones mediante pruebas realizadas con la cámara termográfica en el Zoológico de Córdoba.
- Relacionar estas aplicaciones con el bienestar animal, al no tener que sufrir los animales procesos invasivos para el diagnóstico de ciertas patologías o de gestación, así como al reducir la propia interacción humano-animal, teniendo en cuenta los cinco pilares básicos sobre los que se asienta el bienestar animal.

3. DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1 Métodos.

3.1.1 Búsqueda en bases de datos.

Para llevar a cabo el primero de los objetivos, en la búsqueda bibliográfica se han utilizado principalmente los siguientes portales de internet:

- <http://www.sciencedirect.com/>
- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
- <https://scholar.google.es>

En este estudio se ha incluido solo bibliografía escrita en castellano o en inglés, siendo los más excluidos los textos en alemán. Para realizar la búsqueda bibliográfica, se insertaron en los distintos portales palabras clave tanto en castellano como en inglés como fueron: termografía (thermography), termorregulación (thermoregulation), gestación (pregnancy) y reproducción, ventanas térmicas (thermic windows), comportamiento animal (animal behavior) y patología animal (animal pathology).

Entre los textos encontrados, se fueron descartando todos aquellos en los que los estudios no se hubiesen realizado en zoológicos, acuarios o en los que para realizar el estudio previamente se hubiesen tenido que capturar los animales del medio.

Además de estos portales, también se ha utilizado bibliografía en papel prestada por la biblioteca universitaria Maimónides perteneciente a la Universidad de Córdoba y por la ONG de AMUS (Acción por el Mundo Salvaje).

3.1.2 Pruebas de aplicación de la termografía en el Zoológico de Córdoba.

Para la toma de imágenes térmicas en el Zoológico de Córdoba, que ha servido como ejemplo de las distintas aplicaciones, el instrumental usado ha sido el siguiente:

- Cámara térmica de la marca FLIR y modelo E6 (Fig. 4), de la compañía FLIR, con las siguientes características:
 - Display: LCD en color de 3 pulgadas.
 - Resolución de infrarrojos: 160 x 120 píxeles.
 - Resolución MSX®: 320 a 240 píxeles.
 - Rango de temperaturas: -20 °C a 250 °C.
 - Parámetros de emisividad variable: 0.1 a 1.
 - Campo de visión (FOV): 45° x 34°.
 - Frecuencia de imagen: 9 Hz.
 - Cámara digital 640 x 480 integrada.
 - Precisión del 2% o ± 2 °C.
 - Formato de archivo: jpg radiométrico.
 - Vida útil de la batería: 4 horas aproximadamente.
 - Modo de medición puntual.
 - Almacenamiento simultáneo de imágenes IR/Visuales/MSX.



Figura 4: Cámara térmica FLIR E6

- Software: las imágenes fueron analizadas mediante el programa que traía el propio equipo de la cámara, FLIR Tools.

Los animales a los que se les han realizado las fotografías en el Zoológico de Córdoba con dicha cámara han sido:

- Wallaby de Bennet (*Macropus rufogriseus*)
- Elefante asiático (*Elephas maximus*)
- Gamo (*Dama dama*)
- Buitre Negro (*Aegypius monachus*)
- Anátidas

3.2 Resultados.

Las distintas aplicaciones que se han podido encontrar para el uso de la cámara termográfica en parques zoológicos han sido las siguientes:

3.2.1 Uso de la termografía óptica en el diagnóstico de gestación y evaluación de ciclos reproductivos.

3.2.1.1 Estudios previos:

En mamíferos: el aumento del flujo sanguíneo hacia la vulva durante el estro generalmente permite a la termografía detectar un aumento de la temperatura en esta zona, la cual además suele ser una zona desprovista de pelo (Scolari *et al.*, 2011). A pesar de esta gran aplicación, la termografía óptica ha sido mayormente utilizada para el estudio de la gestación, más que para el estudio del ciclo reproductivo en animales de zoológico. Por ejemplo, ha sido utilizada para detectar gestaciones y pseudogestaciones en panda gigante (*Ailuropoda melanoleuca*) por Durrant *et al.* (2006), quien observó en dos pandas gigantes que, en la hembra gestante, a los 69 días ya se veían estructuras que emitían calor a nivel de los cuernos uterinos (Fig. 5a), y a los 97 se observó el cambio de patrón termográfico distinguiéndose dos zonas que emitían calor en el abdomen correspondientes al feto (Fig. 5b). En la hembra que no quedó gestante no se observó cambio de patrón termográfico ni estructuras que emitiesen más calor en el abdomen (Fig. 5c y 5d). Hilsberg (1998) realizó estudios de gestación en rinoceronte negro (*Diceros bicornis*) sometidos a distintos grados de ejercicio y de estrés y observando los cambios en el patrón de temperaturas durante este período, así como en elefante asiático (*Elephas maximus*). Melero *et al.* (2009) han realizado estudios en koalas (*Phascolarctos cinereus*) en el Zoo de Madrid, comprobando que en los machos es posible detectar un aumento de la temperatura de la glándula aromática del pecho durante la época de celo. En hembras, por otro lado, han visto que durante la gestación es difícil el control de temperaturas, pero cuando aparece el rastro aumentan las medidas de temperatura en los ojos y cambian los patrones abdominales y pectorales. En el marsupio es posible observar el cambio de patrón y el aumento de temperaturas a medida que va creciendo la cría (Fig. 6). Melero (2011) ha llevado a cabo junto a otros colaboradores un estudio en hembras de cuatro especies diferentes: en el tapir amazónico (*Tapirus terrestris*) y el oso hormiguero (*Myrmecophaga tridactyla*) aumentó la temperatura abdominal de forma localizada, ascendiendo conforme avanzaba la gestación; la hembra de panda gigante (*Ailuropoda melanoleuca*) mostró dos zonas bien delimitadas de mayor temperatura

en la región inguinal que incrementaron su temperatura y tamaño durante la gestación y en el delfín mular (*Tursiops truncatus*) hubo un aumento difuso de temperatura en la zona ventral. Sánchez-García *et al.* (2014) han realizado estudios en el rinoceronte blanco (*Ceratotherium simum*), tanto en macho como en hembra, observando la diferencia de temperaturas entre ambos en la región abdominal una vez que la hembra está en el período de gestación, y como a su vez, aumenta también su temperatura conforme avanza la gestación.

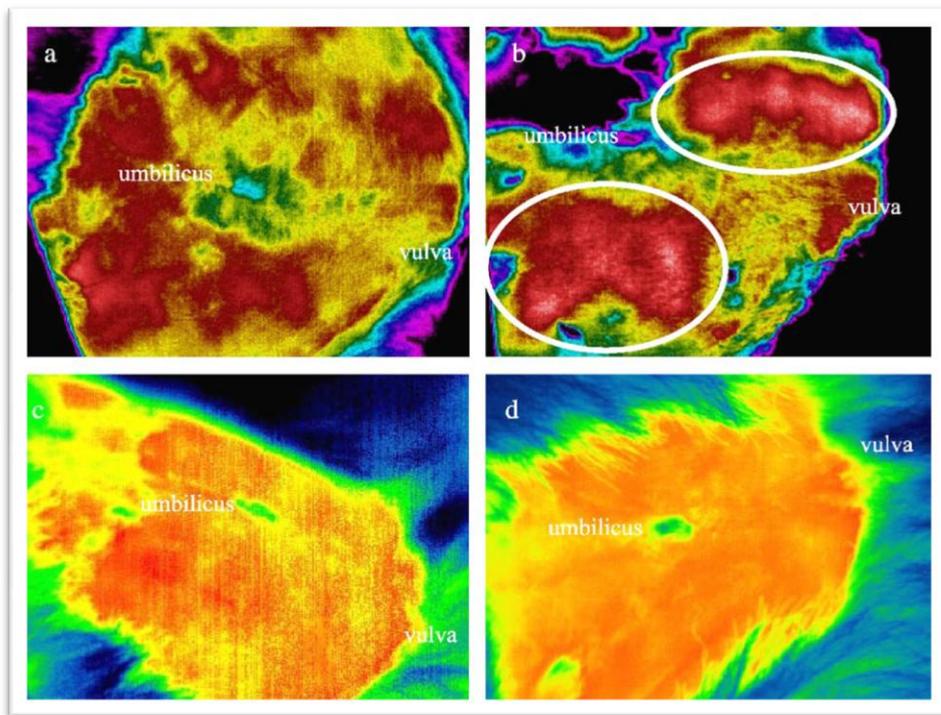


Figura 5: Termogramas de dos pandas gigantes (*Ailuropoda melanoleuca*). La primera hembra está gestante (a) y (b), y la segunda es la no gestante (c) y (d). Tomado de Durrant *et al.* (2006).

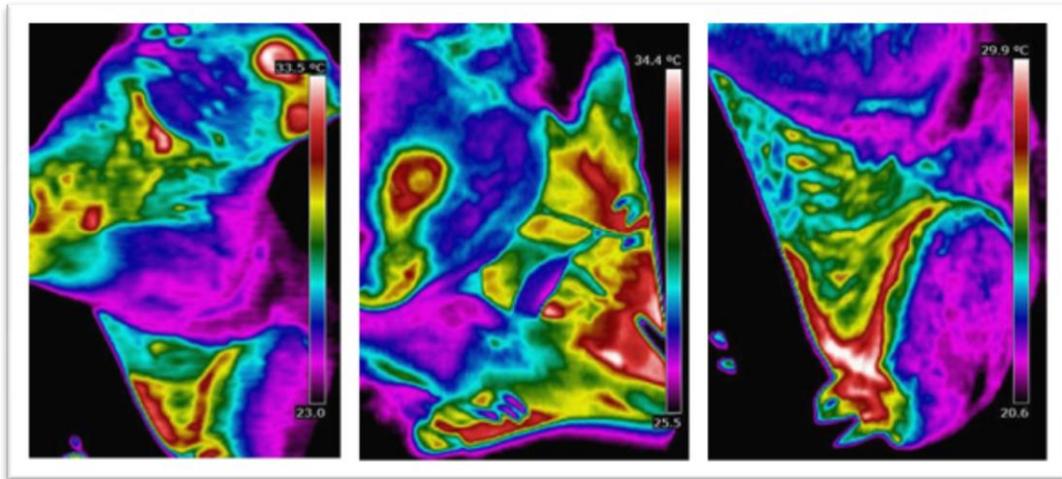


Figura 6: Termogramas de hembra de koala (*Phascolarctos cinereus*) realizados 1 mes, 2 meses y 5 meses y medio tras el rastreo. Tomado de Melero *et al.* (2009).

En aves: la principal utilidad de la termografía en el caso de estos animales es la de permitir valorar si un huevo es fértil o no desde la distancia, sin la necesidad de manipularlo en el ovoscopio, y conocer las condiciones de temperatura que hay a su alrededor (Mortola *et al.*, 2015). En este sentido, se han realizado estudios en cernícalo primilla (*Falco naumanni*) que demuestran que con los huevos infértiles y abortados se obtiene un patrón irregular de temperaturas en su superficie, estando la zona del contacto con los parentales a mayor temperatura que la zona opuesta (Fig. 8). Sin embargo, en el caso de los huevos fértiles la temperatura de la superficie es homogénea. Incluso cuando los huevos no están en contacto con los parentales es posible observar esos distintos patrones (Melero *et al.*, 2009). Lamprecht *et al.* (2003) llevó a cabo un estudio termográfico relacionando la incubación de huevos de distintas especies aviares con la forma de construcción del nido para que la incubación se lleve a término con la menor pérdida de calor dentro de éste.

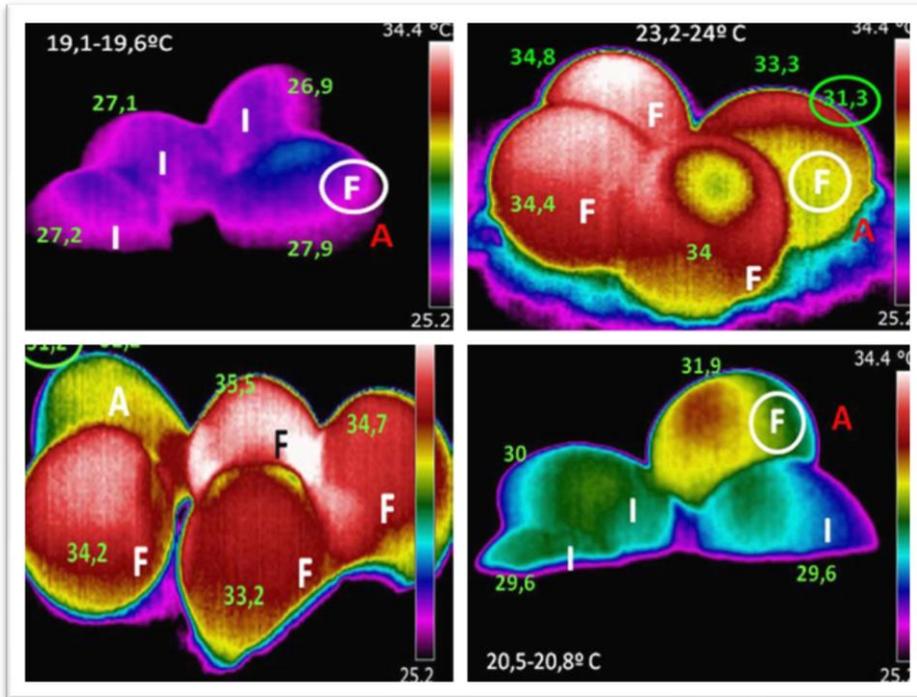


Figura 8: Termogramas de 4 nidos de cernícalo primilla (*Falco naumanni*). Se ha realizado una clasificación a través del ovoscopio con la siguiente leyenda: Abortado (A), Infértil (I), Fértil (F). F con circunferencia: clasificado como fértil y 2 días después como Abortado (A roja). Tomado de Melero *et al.* (2009).

3.2.1.2 Pruebas realizadas en el Zoo de Córdoba para el manejo reproductivo:

En el Zoológico de Córdoba se han tomado distintas fotografías con cámara térmica de una hembra de wallaby de Bennet (*Macropus rufogriseus*) en las que se puede detectar la presencia de rastro en las zonas del abdomen donde hay un aumento considerable de temperatura con respecto a la piel que lo rodea (Fig. 7).

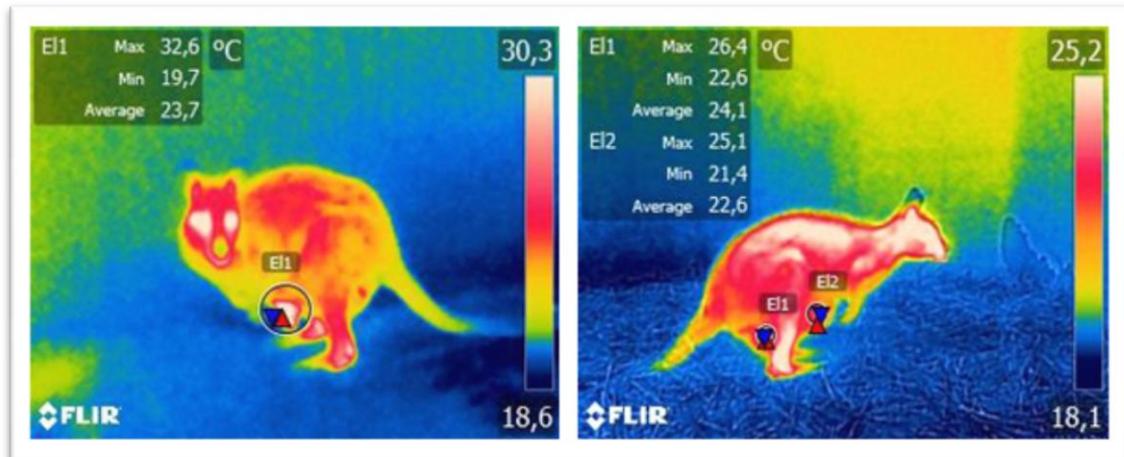


Figura 7: Termogramas de hembra de wallaby de Bennet (*Macropus rufogriseus*). Las mediciones que aparecen en las fotografías marcan las temperaturas máximas y mínimas (las segundas no se tienen en cuenta ya que corresponden al pelaje de esa zona que es más abundante) de la zona de proyección del abdomen donde se delimita el marsupio.

3.2.2 Uso de la termografía óptica en el estudio de la termorregulación con estrés ambiental.

3.2.2.1 Estudios previos:

El estrés térmico aparece cuando el animal es sometido a un ambiente el cual produce una sobrecarga en los mecanismos que mantienen la temperatura interior mientras se produce el intercambio de distintas sustancias y agua (Martínez, 2006). En base a estas situaciones se han realizado diversos estudios de termorregulación en distintos animales, donde en cada una de las especies se pueden distinguir las ventanas térmicas que presentan (superficie del cuerpo que utilizan para disipar el calor y termorregularse con el medio ambiente). Entre ellos, podemos nombrar el estudio llevado a cabo por Kuhn y Meyer (2009) en la nutria euroasiática (*Lutra lutra*) y en la nutria gigante (*Pteronura brasiliensis*), descubriendo que en la primera de ellas la termorregulación se realizaba en la superficie de los pies, mientras que en la segunda se realizaba en toda la superficie del cuerpo, incluyendo la cola (Fig. 9). Cena y Clark (1973) fueron los primeros en llevar a cabo estudios de termorregulación mediante termografía en el Twycross Zoo de Leicestershire, viendo que en el caso del elefante

africano (*Loxodonta africana*) las ventanas térmicas se encontraban en las orejas, mientras que en cebras (*Equus chapman*) observaron diferencias de temperatura entre las zonas de pelaje oscuro y claro. Williams (1990) realizó estudios de termorregulación en dos grandes mamíferos en el Zoo de San Diego, el elefante africano (*Loxodonta africana*) y el elefante asiático (*Elephas maximus*), comprobando que las ventanas térmicas se encontraban en sus orejas y que era a través de éstas por donde se producía la mayor pérdida de calor. En un estudio en avestruces (*Struthio camelus*), casuarios (*Casuaris casuaris*) y emus (*Dromaius novaehollandiae*) se obtuvo que las ventanas térmicas se encontraban en el cuello y en la parte inferior de las patas, y que la forma que empleaba el avestruz para termorregularse era a través del movimiento de sus alas, al contrario que ocurría en emus y casuarios (Phillips *et al.*, 1994). Por otro lado, Mauck *et al.* (2003) estudiaron las ventanas térmicas de tres especies distintas de focas (*Phoca groenlandica*, *Phoca vitulina vitulina* y *Halichoerus grypus*), poniendo de manifiesto que poseen varias ventanas térmicas de reducido tamaño a lo largo de su tronco, usándolas para la termorregulación mediante la evaporación del vapor de agua de su pelaje. En jirafas de Rothschild (*Giraffa camelopardalis rothschildi*), Kaspari (2009) observó mediante termografía las diferencias de temperaturas entre las áreas de pelaje negro, marrón y blanco, constatando que las zonas oscuras eran las que más energía térmica desprendían (Fig. 10) y en las que más variación se producía con los cambios de temperatura ambiental. En el estudio de termorregulación en elefante africano (*Loxodonta africana*) realizado por Weissenböck *et al.* (2010) se confirmaron los mismos puntos que había postulado Williams en 1990, y reflejaron que la termorregulación se producía con el control de la vasoconstricción y la vasodilatación del sistema circulatorio que recorre las orejas. Un estudio del mismo nivel fue llevado a cabo por Rowe *et al.* (2013) pero en elefante asiático (*Elephas maximus*) observando cómo estos animales utilizaban los baños de agua para termorregularse en épocas de más calor. En el Zoo Aquarium de Madrid, Ruiz-Ulloa *et al.* (2014) estudiaron el comportamiento de los hipopótamos (*Hippopotamus amphibius*) para termorregularse mediante baños de agua tanto para bajar su temperatura como para aumentarla.

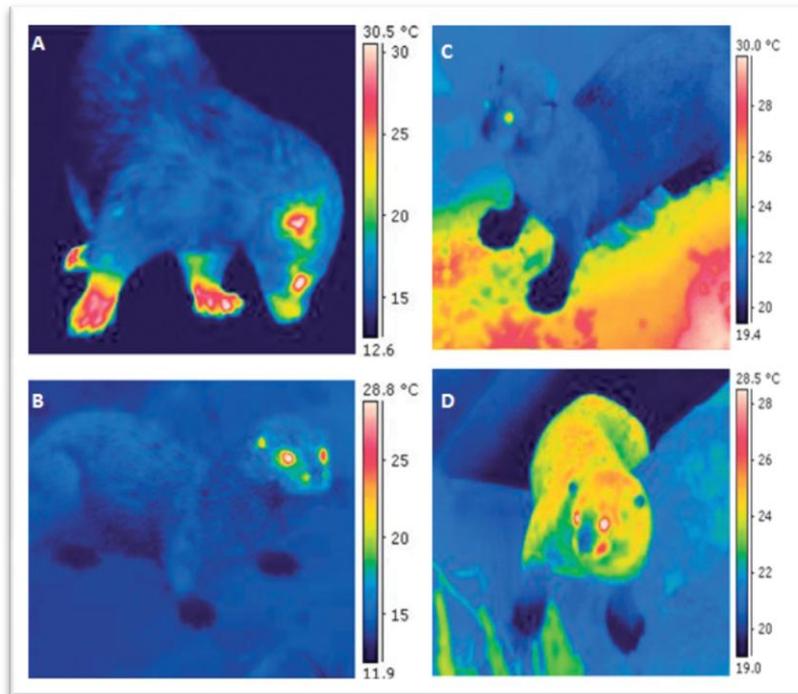


Figura 9: Termogramas de nutria euroasiática (*Lutra lutra*) (A y B) y de nutria tropical gigante (*Pteronura brasiliensis*) (C y D). Las fotografías (B) y (D) fueron tomadas después de salir del agua ambas nutrias. Tomado de Khun y Meyer (2009).

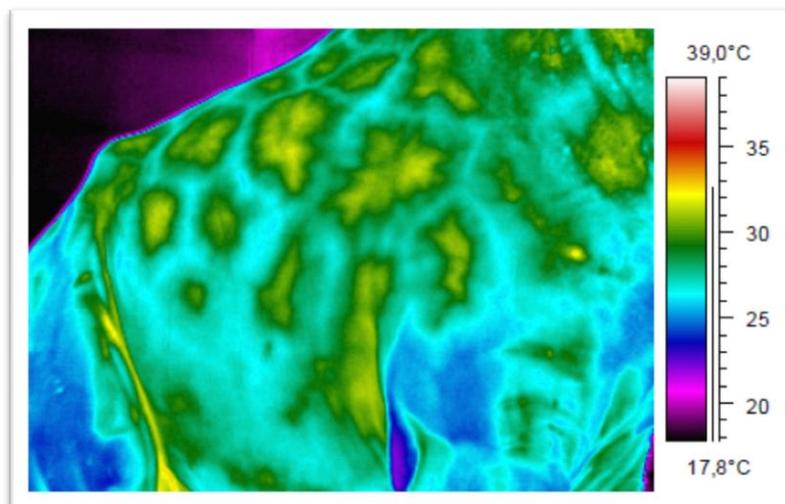


Figura 10: Termograma de una jirafa de Rothschild (*Giraffa camelopardalis rothschildi*). Se observa un aumento en la emisión de calor en las zonas más oscuras del pelaje del individuo, pudiendo llegar a existir una diferencia de 3,7^o C entre zonas claras y oscuras. Tomado de Kaspari (2009).

3.2.2.2 Pruebas realizadas en el Zoo de Córdoba para la evaluación de la termorregulación:

Se debe mencionar el estudio llevado a cabo en el Zoológico de Córdoba con la hembra de elefante asiático (*Elephas maximus*), donde se ha comprobado las orejas tienen una gran función termorreguladora (Fig. 11) en esta especie, siendo principal ventana térmica (Pérez, 2016).

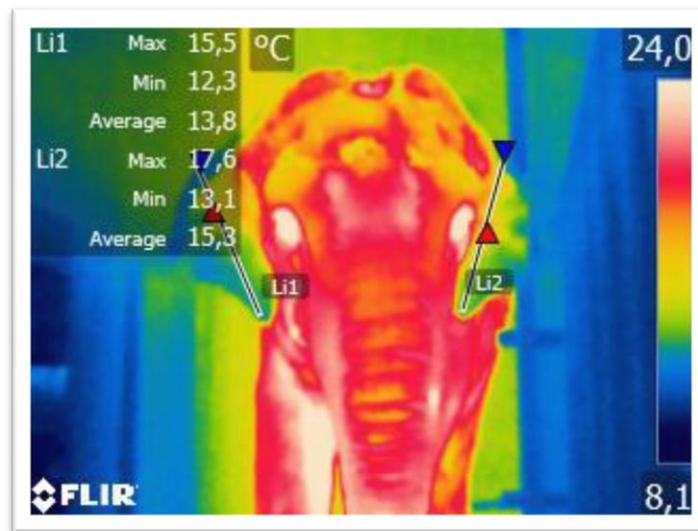


Figura 11: Termograma de elefante asiático (*Elephas maximus*) del Zoológico de Córdoba. Se puede observar la medición de temperaturas realizada en las orejas del animal, las cuales en el estudio presentaron un rango medio de temperaturas entre 17–19 ° C, muy por debajo de la media del resto del cuerpo (25-30 °C). Tomado de Pérez (2016).

3.2.3 Uso de la termografía en el control y análisis de comportamientos.

3.2.3.1 Estudios previos:

Estos estudios han sido realizados con mayor profundidad en animales domésticos, siendo el principal animal analizado el perro (*Canis lupus familiaris*) (Travain *et al.*, 2015), así como en animales en libertad con estudios en delfines (*Stenella attenuata*) (Pabst *et al.*, 2002). Sin embargo, en animales de zoo son muy

pocos los estudios realizados hasta ahora, a pesar de que el grado de estrés en los animales puede ser ampliamente correlacionado con el aumento de temperatura en distintas partes del cuerpo según cada especie (Herborn *et al.*, 2015). Nakayama *et al.* (2005) estudiaron los cambios de temperatura que sufren a nivel facial los monos rhesus (*Macaca mulatta*) cuando son expuestos a una amenaza como es un humano que intenta dañarles, produciéndose entonces una disminución de temperatura de la región nasal entre 10 y 30 segundos después del suceso (Fig.12). Concluyen afirmando que esta disminución de temperatura es un buen indicador de cambio emocional negativo en primates.

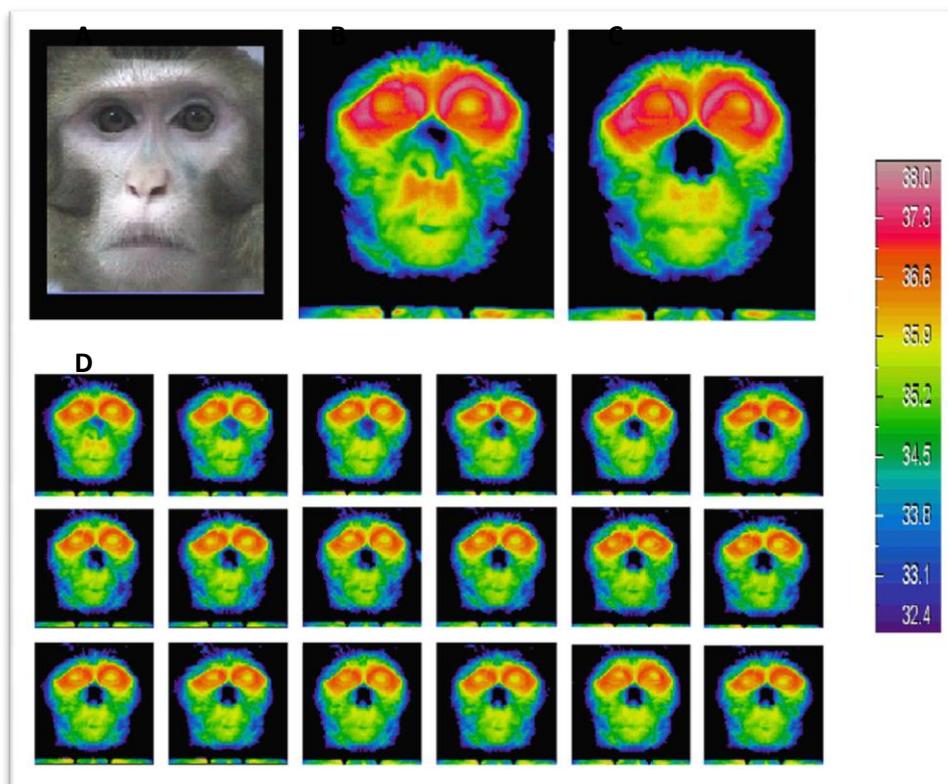


Figura 12: Fotografía (A) y termogramas de un mono rhesus (*Macaca mulatta*) tras ser expuesto a una amenaza. (B) es realizado justo al inicio del período de estimulación y (C) justo al final. (D) corresponde a los termogramas realizados durante la estimulación en intervalos de 10 segundos. Tomado de Nakayama *et al.* (2005).

3.2.4 Uso de la termografía en el diagnóstico de patologías.

3.2.4.1 Estudios previos:

En el centro de las aplicaciones de la termografía a nivel de zoológico e incluso, en el ámbito de la medicina en general se encuentra el diagnóstico de patologías clínicas y subclínicas, debido a que ante cualquier patología que curse con inflamación va a existir un aumento de la temperatura en la zona cercana a la lesión, e igualmente, si existe una lesión necrotizada, por disminución del riego sanguíneo, existirá una menor temperatura en la zona. Sin embargo, antes de aplicar un diagnóstico termográfico a una especie salvaje o silvestre, es necesario conocer siempre su patrón térmico (Rodríguez, 2014). Han sido numerosos los estudios realizados principalmente en animales domésticos, desde especies pequeñas como perros para realizar estudios de masas tumorales o de procesos que cursen con inflamación como piodermas (Sanz *et al.*, 2008) hasta especies de mayor tamaño como el caballo para estudios de laminitis realizados por Çetinkaya *et al.* (2012), incluyendo a los animales de producción para mejorar su bienestar (Stewart *et al.*, 2005). Por nuestra parte, en los zoológicos no son tantos los estudios llevados a cabo, pero si han sido posiblemente los más útiles para los profesionales del sector de la veterinaria. La mayoría de ellos han sido realizados, al igual que en caballos, para el diagnóstico de laminitis y enfermedades podales. Hilsberg (2002) es uno de los autores que ha expuesto casos prácticos del Zoological Garden Frankfurt, presentando casos de diagnóstico de inflamación, laminitis y pododermatitis en el elefante africano (*Loxodonta africana*) y elefante asiático (*Elephas maximus*), así como casos de patologías que cursaban con inflamación de los tejidos en el rinoceronte negro (*Diceros bicornis*), jirafas (*Giraffa camelopardalis*) e hipopótamos (*Hippopotamus amphibius*).

En las aves se observan con gran nitidez los problemas de pododermatitis que encontramos en ellas. Así Melero *et al.* (2010) encontraron en distintas aves rapaces que la pododermatitis plantar podía ser diagnosticada hasta 14 días antes de que diese síntomas clínicos debido a un aumento de temperatura y de un cambio en la patrón térmico de la garra del individuo, llegando a obtener diferencias entre garras sanas y lesionadas de 4 a 8,7º C (Fig. 14).

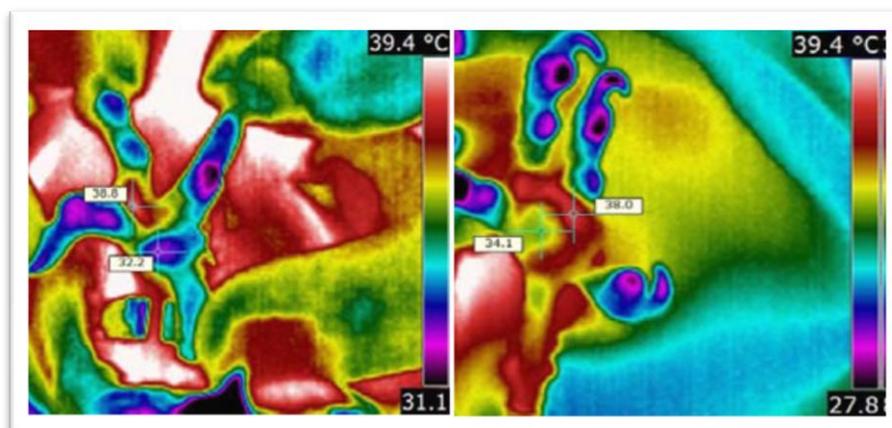


Figura 14: Termografía de dos garras de dos cernícalo primilla (*Falco naumanni*). A la izquierda, vista plantar de la garra derecha con pododermatitis con diferencia de 6,6° C. A la derecha, la garra de otro cernícalo primilla con pododermatitis con diferencia de 3,9 ° C. Tomado de Melero *et al.* (2010).

3.2.4.2 Pruebas realizadas en el Zoo de Córdoba para el diagnóstico de patologías:

Como ejemplo del Zoológico de Córdoba, se tomaron fotografías de un gamo (*Dama dama*) con una fractura en el miembro anterior izquierdo, la cual había sido operada días antes, y presentaba inflamación en toda la zona observable mediante termografía (Fig. 13). Pérez (2016), junto al estudio de termorregulación, realizó un estudio en el mismo elefante sobre la patología podal que sufría en la extremidad posterior izquierda mediante el análisis de simetría térmica con la extremidad contraria posterior.

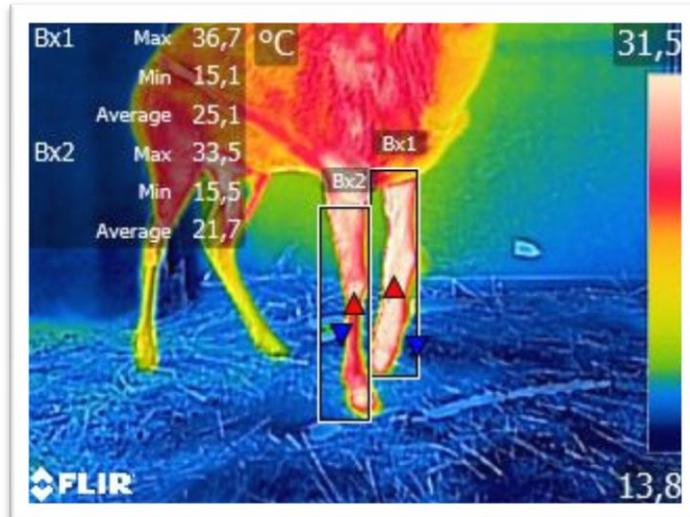


Figura 13: Termograma de gamo (*Dama dama*) con fractura en la pata anterior izquierda. En la imagen se observa una diferencia de temperatura entre la pata sana (Bx2) y la enferma (Bx1) de 3,2° C. Fotografía realizada en el Zoológico de Córdoba en una sala cerrada sin interferencias de temperatura ambiental y luz solar apreciables.

También se ha utilizado esta técnica para examinar las temperaturas de las zonas de las patas con pododermatitis tanto en anátidas (Fig. 15) como en aves necrófagas (Fig. 16).

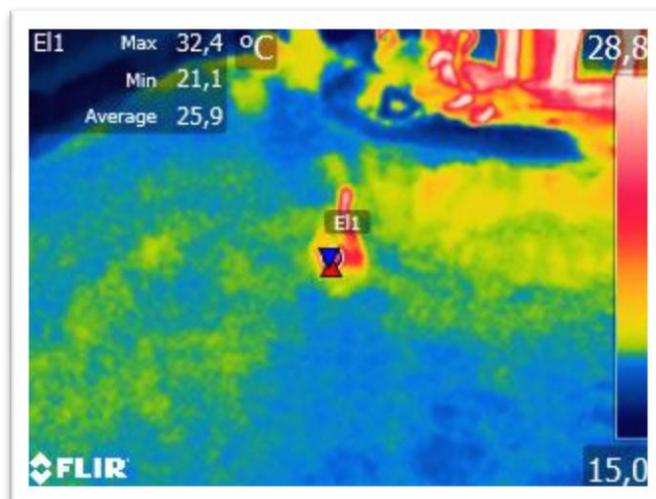


Figura 15: Termograma de anátida con pododermatitis en pata izquierda.

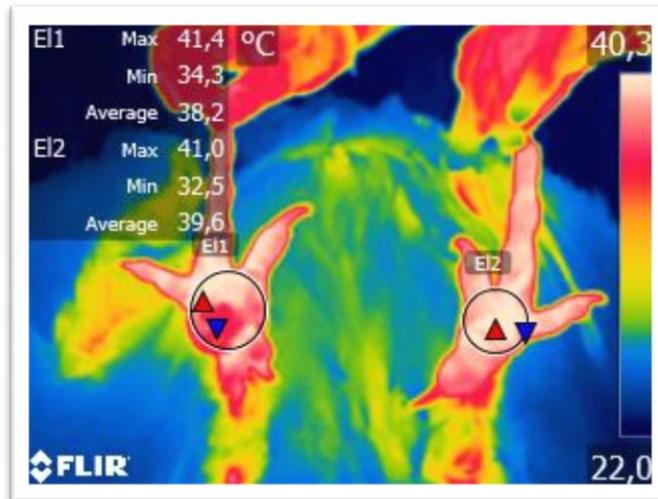


Figura 16: Termograma de buitre negro (*Aegypius monachus*) con pododermatitis en ambas garras.

3.3 Compendio de los estudios realizados con termografía en zoológicos.

Tras la revisión bibliográfica realizada, todos los estudios quedan recogidos en la tabla 1. Como se puede observar, es a partir de 1973 cuando se hace el primer estudio termográfico en zoológico. Sin embargo, no es hasta 1990 cuando los estudios con esta técnica resurgen nuevamente, llevándose a cabo por profesionales del extranjero. Hay que avanzar hasta el año 2009 para encontrar estudios realizados en el ámbito nacional, la gran mayoría de ellos hechos por Melero *et al.* quienes realizan grandes avances trabajando con animales del Zoo de Madrid. Es en la década del año 2000 cuando se empieza a utilizar con más frecuencia la cámara termográfica en éste ámbito, realizándose principalmente estudios reproductivos y de termorregulación, al contrario que en análisis y control de comportamientos (donde solo encontramos un estudio) y en el estudio de patologías. Al comparar el estudio llevado a cabo por McCafferty (2007), donde recoge las publicaciones redactadas sobre termografía tanto en animales de vida libre como en cautividad, con lo obtenido en nuestro estudio se constata que el número de publicaciones ha crecido bastante en número, sobre todo desde el 2009 en adelante. Un aspecto a destacar es que la mayoría de estos estudios se está realizando en grandes especies de mamíferos, sin que se vea cambio en esta tendencia a lo largo de los años.

Tabla 1: Relación de estudios realizados sobre las distintas aplicaciones de termografía óptica en animales de zoológico, ordenados según fecha de publicación, desde 1973 hasta 2014.

APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA ÓPTICA EN ANIMALES DE PARQUES ZOOLOGICOS						
Especie	Aplicación	Estudio realizado	Sistema	Autor	Año	
Elefante africano Cebra	<i>Loxodonta africana</i> <i>Equus chapman</i>	Termorregulación con estrés ambiental.	Termorregulación y ventanas térmicas y variaciones de temperatura en las distintas áreas de pelaje.	ThermaCAM Agavision System 680	Cena y Clark	1973
Elefante africano Elefante asiático	<i>Loxodonta africana</i> <i>Elephas maximus</i>	Termorregulación con estrés ambiental.	Termorregulación y ventanas térmicas.	ThermaCAM AGEMA 728	Williams	1990
Avestruz Casuario Emu	<i>Struthio camelus</i> <i>Casuaris casuarius</i> <i>Dromaius novaehollandiae</i>	Termorregulación con estrés ambiental.	Termorregulación de las distintas especies y comparación entre ellas.	Inframetrics 525 IR	Phillips <i>et al.</i>	1994
Rinoceronte negro Elefante asiático	<i>Diceros bicornis</i> <i>Elephas maximus</i>	Diagnóstico de gestación y ciclos reproductivos.	Respuesta térmica durante la gestación a distintos grados de estrés.	-	Hilsberg	1998
Elefante asiático Elefante africano Rinoceronte negro Jirafa Hipopótamo	<i>Elephas maximus</i> <i>Loxodonta africana</i> <i>Diceros bicornis</i> <i>Giraffa camelopardalis</i> <i>Hippopotamus amphibius</i>	Diagnóstico de patologías.	Estudio de patologías.	Thermovision 470 Thermovision 570 Vetcam 695 ThermaCAM 695	Hilsberg	2002
Focas	<i>Phoca groenlandica</i> , <i>Phoca vitulina vitulina</i> y <i>Halichoerus grypus</i>	Termorregulación con estrés ambiental.	Termorregulación y ventanas térmicas.	ThermaCAM AGEMA 870	Mauck <i>et al.</i>	2003
Aves cantoras		Diagnóstico de gestación y ciclos reproductivos.	Relación entre nidificación e incubación.	ThermaCAM THI-300	Lamprecht <i>et al.</i>	2003

APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA ÓPTICA EN ANIMALES DE PARQUES ZOOLOGICOS (continuación)

Especie	Aplicación	Estudio realizado	Sistema	Autor	Año
Mono rhesus <i>Macaca mulatta</i>	Control y análisis de comportamientos.	Patrones térmicos tras el sometimiento a estrés.	ThermaCAM TH5100	Nakayama <i>et al.</i>	2005
Panda gigante <i>Ailuropoda melanoleuca</i>	Diagnóstico de gestación y ciclos reproductivos.	Gestación y pseudogestación.	ThermaCAM PM545	Durrant <i>et al.</i>	2006
Nutria euroasiática <i>Lutra lutra</i>	Termorregulación con estrés ambiental.	Comparación de la termorregulación en dos especies de nutria.	ThermaCAM FLIR B20	Kuhn y Meyer	2009
Nutria gigante <i>Pteronura brasiliensis</i>					
Jirafa de Rothschild <i>Giraffa camelopardalis rothschildi</i>	Termorregulación con estrés ambiental.	Variaciones de temperatura en las distintas áreas de pelaje.	ThermaCAMTM PM 695 PAL	Kaspari	2009
Koala <i>Phascolarctos cinereus</i>	Diagnóstico de gestación y ciclos reproductivos.	Cambio de patrones térmicos en marsupiales durante la gestación.	ThermaCAM FLIR E45	Melero <i>et al.</i>	2009
Cernícalo primilla <i>Falco naumanni</i>	Diagnóstico de gestación y ciclos reproductivos.	Patrones térmicos en huevos fértiles e infértiles.	ThermaCAM FLIR E45	Melero <i>et al.</i>	2009
Elefante africano <i>Loxodonta africana</i>	Termorregulación con estrés ambiental.	Termorregulación y ventanas térmicas de la especie.	ThermaCAM FLIR P60	Weissenböck <i>et al.</i>	2010
Cernícalo primilla <i>Falco naumanni</i>	Diagnóstico de patologías.	Polidermatitis en aves.	ThermaCAM FLIR E45	Melero <i>et al.</i>	2010
Cernícalo vulgar <i>Falco tinnunculus</i>					
Águila azor perdicera <i>Hieraaetus fasciatus</i>					
Buitre leonado <i>Gyps fulvus</i>					
Búho chico <i>Asio otus</i>					

APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA ÓPTICA EN ANIMALES DE PARQUES ZOOLOGICOS (continuación)

Especie	Aplicación	Estudio realizado	Sistema	Autor	Año
Tapir amazónico	<i>Tapirus terrestres</i>				
Oso hormiguero	<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	Diagnóstico de gestación y ciclos reproductivos.	Patrones térmicos en gestación.	ThermaCAM FLIR E45	Melero <i>et al.</i> 2011
Panda gigante	<i>Ailuropoda melanoleuca</i>				
Delfín mular	<i>Tursiops truncatus</i>				
Elefante asiático	<i>Elephas maximus</i>	Termorregulación con estrés ambiental.	Termorregulación y ventanas térmicas de la especie.	ThermaCAM FLIR PM575	Rowe <i>et al.</i> 2013
Hipopótamo	<i>Hippopotamus amphibius</i>	Termorregulación con estrés ambiental.	Métodos de termorregulación mediante baños de agua.	ThermaCAM FLIR E45	Ruiz-Ulloa <i>et al.</i> 2014
Rinoceronte blanco	<i>Ceratotherium simum</i>	Diagnóstico de gestación y ciclos reproductivos.	Patrones térmicos en gestación.	ThermaCAM FLIR E45	Sánchez-García <i>et al.</i> 2014

3.4 Discusión sobre la repercusión del uso de la termografía en el bienestar animal.

Como se ha mencionado, otro de los objetivos de este trabajo es analizar la repercusión de la aplicación de la termografía en pro del bienestar de los animales de zoológico. Aunque sea de forma un tanto indirecta, las distintas aplicaciones que se han descrito de la termografía pueden ayudarnos mucho en este sentido.

3.4.1 De las “cinco libertades” a los “cinco dominios”.

Antes de abordar el tema del bienestar animal es necesario exponer las bases o principios sobre los que a día de hoy se asienta, lo que se conoce como las “cinco libertades” y la estrategia llevada a cabo en los zoológicos con animales salvajes en cautividad.

Las “cinco libertades” de los animales domésticos o en cautividad fueron expuestas por la Comisión Brambell en 1965 como la posibilidad de realizar sin complicaciones las siguientes pautas: “acostarse, levantarse, darse la vuelta, estirarse y asearse” (Friedrich, 2012). Posteriormente en 1993 el Farm Animal Welfare Council (FAWC) estableció que las “cinco libertades” del bienestar animal serían:

- **Libres de hambre, sed y malnutrición:** a través de agua limpia y una dieta adecuada para su estado de salud.
- **Libres de incomodidad** (estrés ambiental): refiriéndose a un ambiente adecuado a sus necesidades, protegido y con zonas de descanso cómodas.
- **Libres de dolor, lesión y enfermedad:** insistiendo en la prevención de enfermedades, pero también en el diagnóstico y tratamiento de estas.
- **Libres de miedo y ansiedad** (estrés social).
- **Libre para expresar sus pautas normales de comportamiento:** se incluyen las infraestructuras donde se encuentran y la existencia de otros animales en su misma ubicación.

Actualmente, la OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal) define el bienestar animal como: *“Cómo un animal está haciendo frente a las condiciones en las que vive. Un animal está en un estado óptimo de bienestar (como está indicado por evidencia*

científica) si está sano, cómodo, bien alimentado, seguro, si es capaz de expresar su comportamiento innato, y si no sufre de estados indeseados como dolor, miedo y angustia. Un bienestar animal óptimo requiere la prevención de enfermedades y tratamiento veterinario, refugio apropiado, manejo, nutrición, manejo humano y sacrificio humanitario. Bienestar Animal se refiere al estado del animal; el tratamiento que un animal recibe está cubierto por otros términos como el cuidado animal, manejo animal, y el trato humanitario.”

La World Association of Zoos and Aquariums planteó en 2015 la **Estrategia Mundial de Zoológicos y Acuarios para el Bienestar Animal** (WAZA, 2015) una guía de buenas prácticas para conseguir y mantener un grado aceptable de bienestar en los animales. En esta estrategia entran en juego dos nuevos términos, el de experiencias positivas y experiencias negativas, que van a hacer que el grado de bienestar se mueva entre un extremo y otro. Para medir el grado de bienestar en animales salvajes en cautividad se ha elaborado el modelo de los “cinco dominios”. En este modelo entran de forma resumida las “cinco libertades” (que fueron elaboradas principalmente para animales domésticos) como los cuatro primeros dominios funcionales/físicos que son: **nutrición, entorno, salud física y conducta**, y se establece un nuevo dominio, el **estado mental**, en el que se incluyen las experiencias positivas y negativas que se obtendrán en los cuatro dominios anteriores (Fig. 17). Para satisfacer las necesidades de los “cinco dominios” será necesario por tanto conocer la biología de cada especie y llevar a cabo una serie de correcciones sobre cada uno de los dominios en busca del mayor grado de bienestar.



Figura 17: Esquema representativo de los “cinco dominios” según la WAZA.

3.4.2 Relación de los “cinco dominios” con los usos de la termografía en el zoológico.

Basándonos, por tanto, en el modelo de “cinco dominios” hemos querido establecer la relación entre el uso de la termografía óptica para mejorar el bienestar de los animales que se encuentran en zoológicos:

- La primera relación a establecer es con el dominio de la **nutrición**. La termografía óptica nos ayuda a conocer el estado fisiológico y patológico de los animales, de forma que la dieta se puede adaptar en base a su estado reproductivo o a la patología que sufra el animal, como en los casos anteriores de seguimiento de gestación, pseudogestaciones o patologías podales que pueden ser debidas a una mala alimentación. Además, mediante la termografía vamos a conocer la forma de termorregulación del animal, y si éste precisa de más agua para saciar su sed y termorregularse debido al estrés térmico que sufre. Son varios los trabajos que se han nombrado en este aspecto (Cena y Clark, 1973; Williams, 1990; Hilsberg, 1998; Durrant *et al.*, 2006; Melero *et al.*, 2009; Weissenböck *et al.*, 2010; Rowe *et al.*, 2013; Ruiz-Ulloa *et al.*, 2014)

- Para mejorar el bienestar a través del **entorno** la termografía se convierte en una útil herramienta al no ser necesario invadir completamente el entorno del animal y al no existir interacción con el ser humano de forma directa. Dentro de las aplicaciones de la termografía cabe destacar el uso de ésta para el conocimiento de la termorregulación de cada especie, de forma que se va a poder adaptar el entorno a sus necesidades aplicando mejores zonas de confort y creando puntos de agua para ciertas especies (Mauck *et al.*, 2003; Rowe *et al.*, 2013; Ruiz-Ulloa *et al.*, 2014). Por otro lado, también se puede adaptar el entorno tanto a estados reproductivos (pudiendo modificar el nido, adaptándolo a las necesidades del huevo como se ha podido ver en el estudio realizado por Lamprecht *et al.* (2003), o la paridera, modificándola acorde a las necesidades del animal), como a estados patológicos (en las enfermedades podales se puede adaptar la superficie sobre la que descansan los animales con el fin de reducir el daño en sus extremidades (Hilsberg, 2002)), o a necesidades conductuales en aquellos animales cuyo nivel de estrés sea detectable térmicamente (Nakayama *et al.*, 2005).
- El tercer dominio, la **salud física**, tiene fácil relación con el uso de esta técnica. Para reconocer una patología y diferenciarla de un estado fisiológico primero es necesario saber cuáles son los patrones térmicos de una especie en concreto, así como sus variaciones (Melero *et al.*, 2010). Una vez conocidos estos, el diagnóstico de patologías puede prevenir la aparición de la sintomatología de una enfermedad que se encuentra en forma subclínica o de un síntoma que puede derivar en una enfermedad que hará que el individuo acabe teniendo que someterse a una cirugía o terminar siendo eutanasiado como puede ocurrir a veces en las patologías podales. Esta aplicación hará que se pueda actuar con prontitud sobre el animal y sobre el entorno que lo rodea aislándolo y revisando a los compañeros de instalación (Hilsberg, 2002). Ciertos síntomas que aparecen en los animales pueden no deberse a una enfermedad, sino a una escasez de bienestar, como puede ser el caso de la deformación de pezuñas en ungulados silvestres y otros megaherbívoros (Pérez, 2016) o ciertas

enfermedades asociadas a los cambios de temperaturas, que se deben igualmente a la falta de éste.

- El cuarto dominio, la **conducta**, establece la relación con el estudio de patrones conductuales mediante termografía óptica (Nakayama *et al.*, 2005) dónde, como se ha mencionado anteriormente, aún queda mucho terreno por descubrir. Aun así, queda claro que tanto experiencias negativas que impidan la muestra de una conducta causando estrés, como experiencias positivas van a originar en la mayoría de especies un cambio en el patrón térmico normal de éstas. En este dominio se puede incluir también el tema de las pseudogestaciones, donde el animal va a mostrar una conducta que se relaciona con una patología, y no con un estado reproductivo (Durrant *et al.*, 2006). Reseñar que al tratarse de animales salvajes que no han sido tan bien estudiados como otras especies, lo que en un principio puede verse como un comportamiento normal por no mostrar estereotipias ni respuestas de amenaza, gracias a la termografía se pueden observar cambios en las temperaturas y en los patrones de éstas que según la especie de la que se trate son indicativos de estar siendo sometidos a un estrés social. Si reconocemos rápidamente estos problemas podemos actuar sobre ellos, teniendo aún más consideración esta aplicación al tratarse de animales en cautividad de los cuales no siempre se conocen sus reacciones ante la presencia de público.
- El último dominio, el **estado mental**, es el conjunto de experiencias positivas y negativas que se adquieren en los anteriores dominios, por lo que la termografía óptica mediante sus distintas aplicaciones puede ayudar a que sean más las experiencias positivas que las negativas evitando el dolor con el diagnóstico de patologías, el miedo, la frustración o el enojo con el análisis de comportamiento, aumentando su seguridad al actuar sobre el entorno y su satisfacción al proporcionarles lugares donde no haya estrés térmico, logrando con ello un alto grado de bienestar de ese animal o grupo de animales.

4. CONCLUSIONES

Después de todos los artículos revisados y pruebas hechas en el zoológico, llegamos a la conclusión de la gran utilidad que tiene la termografía en este terreno y su aplicación a la mejora del bienestar en parques zoológicos. A diferencia de las mascotas y otros animales domésticos aún queda mucho camino por recorrer al ser muy pocos los estudios termográficos realizados en zoológicos debido a la variedad de animales existente en cada uno de ellos, y a la falta de un perfecto conocimiento de su fisiología. La termografía abre la puerta a llevar a cabo inmensidad de estudios que pueden servir a los técnicos para entender mejor las imágenes y patrones termográficos de cada animal y al personal del zoológico encargado de los animales a corregir las necesidades de éstos y mantener un grado alto de bienestar para ellos.

Uno de los campos donde sería necesario realizar más estudios es en el de análisis y control de comportamientos, sobre todo porque se trata de especies de vida libre en cautividad que se muestran de cara al público, lo que aumenta el riesgo de estrés que pueden sufrir estos animales.

Por otro lado, son pocos los artículos publicados sobre diagnóstico de patologías, ya sea porque no se realizan pruebas o estudios, o porque no se dan a conocer dichos diagnósticos. Sea como fuere, es un hecho que la termografía a nivel de clínica puede ayudar a resolver muchos diagnósticos, y por ello debería ser impulsada fuertemente en los lugares donde se practique la medicina animal.

5. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a mis directores de trabajo Ana M^a y Rafa, junto a Evangelina el haberme marcado las directrices del proyecto y haberme ayudado en la redacción de éste. Agradecer también la colaboración del Zoológico de Córdoba, sin la cual no se hubiesen podido realizar las fotografías con cámara térmica presentadas en el trabajo y a la Facultad de Veterinaria de Córdoba por prestarnos el instrumental necesario. Mis agradecimientos también a los compañeros de AMUS por haberme apoyado y ayudado durante su realización; y a mis compañeros de universidad por haberme animado a realizar este trabajo y haberme acompañado durante estos 5 años día a día. Por último, los más importantes, mi familia, agradecerles el apoyo recibido durante esta etapa de mi vida y en especial en este último proyecto antes de que comience una nueva fase.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Cena K., Clark J.A. 1973. *Thermographic measurements of the surface temperatures of animals*. *Journal of Mammalogy* 54:1003-1007.
- Çetinkaya M.A., Demirutku A. 2011. *Thermography in the assessment of equine lameness*. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 36(1):43-48.
- Cilulko J., Janiszewski P., Bogdaszewski M., Szczygielska E. 2013. *Infrared thermal imaging in studies of wild animals*. *European Journal of Wildlife Research* 59:17-23.
- Consejería de Economía y Hacienda, Dirección General de Industria, Energía y Minas. 2011. *Guía de la termografía infrarroja. Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética*. Móstoles (Madrid): Gráficas Arias Montoro, S.A.
- Durrant B.S., Ravida N., Spady T., Cheng A. 2006. *New technologies for the study of carnivore reproduction*. *Theriogenology* 66:1729–1736.
- Engineering the world from Paraguay. 17 de enero de 2011. Conceptos iniciales sobre Termografía Infrarroja. Recuperado de <https://ramausa.wordpress.com/2011/01/17/conceptos-iniciales-sobre-termografia-infrarroja/>
- FLIR. Termografía: Una tecnología preparada para conquistar el mundo. Recuperado de www.flir.com/
- Friedrich N.O. 2012. *Bienestar Animal*. *Información Veterinaria (CMVPC)*, Córdoba 170:41-43 y 171:42-44.
- Fowler M.E., Miller R.E. 2007. *Zoo and Wild Animal Medicine, Current Therapy*. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- Hilsberg S. 1998. *Infrared-thermography in zoo animals: new experiences with this method, its use in pregnancy and inflammation diagnosis and survey of environmental influences and thermoregulation in zoo animals*. European Association of Zoo and Wildlife Veterinarians (EAZWV), Chester, Second scientific meeting, May 21–24.
- Hilsberg S. 2002. *Clinical application of infraredthermography in inflammation diagnosis in mega-herbivores*. European Association of Zoo- and Wildlife Veterinarians (EAZWV) 4th scientific meeting, joint with the annual meeting of the European Wildlife Disease Association (EWDA) May 8-12, 2002, Heidelberg, Germany.
- Herborn K.A., Graves J.L., Jerem P., Evans N.P., Nager R., McCafferty D.J., McKeegan D.E.F. 2015. *Skin temperature reveals the intensity of acute stress*. *Physiology & Behavior*.

- Kaspari V. 2009. Infrared thermography – Studies of the giraffe skin. En Ćwiertnia P., Zgrabczyńska E. (Ed.), Zoo & Research (pp. 17-20) Poznań, Poland: Ogród Zoologiczny w Poznaniu
- Kuhn R.A., Meyer W. 2009. *Infrared thermography of the body surface in the Eurasian otter Lutra lutra and the giant otter Pteronura brasiliensis*. Aquatic Biology 6:143–152.
- Lamprecht I., Schmolz E. 2004. *Thermal investigations of some bird nests*. Thermochemica Acta 415: 141-148.
- Mariño Mur, A. 2012. *Caracterización térmica de un conjunto de edificaciones del pirineo oscense mediante termografía infrarroja*. (Proyecto de fin de grado). Universitat Politècnica de València, Valencia.
- Martínez Marín A.L. 2006. *Efectos climáticos sobre la producción del vacuno lechero: estrés por calor*. Revista Electrónica de Veterinaria REDVET, ISSN 1695-7504, Vol VII, nº 10, Veterinaria.org – Comunidad Virtual Veterinaria. Org – Veterinaria Organización S.L. España. Mensual.
- Mauck B., Bilgmann K., Jones D.D., Eysel U., Dehnhardt G. 2003. *Thermal windows on the trunk of hauled-out seals: hot spots for thermoregulatory evaporation?* Journal of Experimental Biology 206:1727-1738.
- McCafferty D.J. 2007. *The Value of Infrared Thermography for Research on Mammals: Previous Applications and Future Directions*. Mammal Review 37 (3):177 - 255.
- Melero M., Casado Violat S., Sánchez-Vizcaíno J.M. 2009. *Aplicación de la Termografía en la Valoración de la Fertilidad en Huevos de Cernícalo primilla*. RCCV 3 (2):60-68.
- Melero Asensio M., Delclaux Real de Asúa M., Sánchez-Vizcaíno J.M. 2009. *Aplicación de la Termografía para el Estudio de los Koalas*. RCCV 3 (2):51-59.
- Melero M., Aguilar L., García-Millán I., Delclaux M., Sánchez-Vizcaíno J.M. 2011. *Aplicación de la termografía al diagnóstico y seguimiento de gestación en animales de zoo*. VI Jornadas Complutense, V Congreso Nacional de Investigación para Alumnos de Pregrado en Ciencias de la Salud y X Congreso de Ciencias Veterinarias y Biomédicas. Madrid.
- Melero M., López I., Sánchez-Vizcaíno J.M. 2010. *Aplicación de la termografía en el diagnóstico y valoración de la pododermatitis plantar en rapaces*. RCCV 4(2):61-68.
- Melero M., Sánchez-Vizcaíno J.M. 2010. *Aplicación de la termografía a la fauna salvaje*. Profesión Veterinaria 74:78-83.
- Mortola J.P., Kim J., Lorzadeh A., Leurer C. 2015. *Thermographic analysis of the radiant heat of chicken and duck eggs in relation to the embryo's oxygen consumption*. Journal of Thermal Biology 48:77–84.

- Nakayama K., Goto S., Kuraoka K., Nakamura K. 2005. *Decrease in nasal temperature of rhesus monkeys (Macaca mulatta) in negative emotional state*. Physiology Behavior 84:783–790.
- NDT Termografía Infrarroja. 2011. *El uso de la termografía en equinos como herramienta complementaria de diagnóstico*. [En línea]. NDT Termografía Infrarroja, 2011. [consulta: 7 de marzo de 2016]. Disponible en <http://www.inspeccionestermograficas.es/aplicaciones/veterinaria/>
- Otsuka K., Togawa T. 1997. Hippocratic thermography. Physiological Measurement 18:227-232.
- Pabst D.A., McLellan W.A., Meagher E.M., Westgate A.J. 2002. *Measuring Temperatures and Heat Flux from Dolphins in the Eastern Tropical Pacific: is Thermal Stress Associated with Chase and Capture in the ETP-tuna Purse Seine Fishery?* LJ-02-34C: 1–52.
- Pérez Rodríguez C. 2016. *Estudio termográfico de elefante asiático (Elephas maximus) en el Parque Zoológico de Córdoba*. Proyecto de fin de grado. Universidad de Córdoba, Córdoba.
- Phillips P.K., Sanborn A.F. 1994. *An infrared, thermographic study of surface temperature in three ratites: ostrich, emu and double-wattled cassowary*. Journal of Thermal Biology 19:423-430.
- Rodríguez Prieto V. 2014. *Nuevas aportaciones epidemiológicas y diagnósticas para el estudio de la interacción entre la fauna doméstica y silvestre*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Rowe M.F., Bakken G.S., Ratliff J.J., Langman V.A. 2013. *Heat storage in Asian elephants during submaximal exercise: behavioral regulation of thermoregulatory constraints on activity in endothermic gigantotherm*. The Journal of Experimental Biology 216:1774-1785.
- Ruiz-Ulloa A.C., Sanchez-Garcia R., Melero M., Delclaux M., Sanchez-Vizcaino J.M. 2014. *Aplicación de la termografía a la termorregulación del hipopótamo*. IX Jornadas Complutenses, VIII Congreso Nacional de Investigación para Alumnos Pregraduados en Ciencias de la Salud y XIII Congreso de Ciencias Veterinarias y Biomédicas, Universidad Complutense, Madrid, España, 24 de abril de 2014.
- Sánchez-García R., Ruiz-Ulloa A.C., Melero M., Delclaux M., Sánchez-Vizcaíno J.M. 2014. *Aplicación de la termografía en el diagnóstico de gestación de rinoceronte blanco*. IX Jornadas Complutenses, VIII Congreso Nacional de Investigación para Alumnos Pregraduados en Ciencias de la Salud y XIII Congreso de Ciencias Veterinarias y Biomédicas, Universidad Complutense, Madrid, España, 24 de abril de 2014.
- Sanz Tolón A., Vicente Rubiano M., Castaño Rosado M., Sánchez-Vizcaíno J.M. 2008. *Utilización de imagen termográfica en el diagnóstico de patologías caninas*. RCCV, Vol2 (2). ISSN: 1988-2668.
- Scolari S.C., Clark S.G., Knox R.V., Tamassia M.A. 2011. *Vulvar skin temperature changes significantly during estrus in swine as determined by digital infrared thermography*. Journal of Swine Health and Production 19(3):151–155.

- Stewart M., Webster J.R., Schaefer A.L., Cook N.J., Scott S.L. 2005. *Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare*. *Animal Welfare* 14:319–325.

- Travain T., Colombo E.S., Heinzl E., Bellucci D., Previde E.P., Valsecchi P. 2015. *Hot dogs: Thermography in the assessment of stress in dogs (Canis familiaris) - A pilot study*. *Journal of Veterinary Behavior* 10:17-23.

- Weissenböck N.M., Weiss C.M., Schwammer H.M., Kratochvil H. 2010. *Thermal windows on the body surface of African elephants (Loxodonta africana) studied by infrared thermography*. *Journal of Thermal Biology* 35: 182-188.

- Williams T.M. 1990. *Heat transfer in elephants: thermal partitioning based on skin temperature profiles*. *Journal of Zoology (London)* 222:235-245.

- World Association of Zoos and Aquariums: WAZA. 2015. *Caring for wildlife. The world zoo aquarium animal welfare strategy*. Berne: WAZA.