



Universidad
Católica de
Valencia
San Vicente Mártir

TFG

TRABAJO FIN DE GRADO

**GRADO EN
VETERINARIA**

Importancia de una correcta iluminación para reptiles en cautividad. Revisión bibliográfica.

Francisco Javier Cegarra Martínez

Jose Sansano Maestre

5º Veterinaria



Facultad de Veterinaria
y Ciencias Experimentales
Universidad Católica de Valencia
San Vicente Mártir

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Pág.

RESUMEN/ABSTRACT.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Radiaciones electromagnéticas que emite el sol.....	4
1.2. Importancia del sol y su efecto en los reptiles.	5
1.2.1. Temperatura.....	5
1.2.2. Fotoperiodo.	6
1.2.3. Síntesis de vitamina D3.....	7
2. OBJETIVOS.....	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
4. RESULTADOS.....	14
4.1. Resultados del análisis bibliométrico.....	14
5. DISCUSIÓN.....	18
5.1. Discusión del contenido de los documentos seleccionados.....	18
5.1.1. ¿Qué UVB reciben los reptiles en la naturaleza? Zonas Ferguson, recomendaciones en cautividad según la especie.	18
5.1.2. Fuentes de radiación UVB.....	20
5.1.2.1. Tubos fluorescentes.....	21
5.1.2.2. Bombillas fluorescentes compactas.....	21
5.1.2.3. Bombillas de vapor de mercurio.....	22
5.1.2.4. Bombillas halogenuro metálico.....	23
5.1.3. Fuentes de radiación no UVB.....	24
5.1.3.1. Bombillas incandescentes	25
5.1.3.2. Infrarrojos.....	25
5.1.3.3. bombillas de colores.....	26
5.1.4. Materiales que interfieren las emisiones.....	26
5.1.5. Recomendaciones para una correcta iluminación en cautividad.....	27
5.1.6. Patologías más comunes por una incorrecta iluminación.....	29
5.1.6.1. Hipovitaminosis D.....	29
5.1.6.2. Enfermedad metabólica ósea asociada a la iluminación.....	30
5.1.6.3. Patologías por exceso de radiación UV.....	31
5.1.6.4. Quemaduras.....	32
6. CONCLUSIONES.....	33
7. BIBLIOGRAFÍA.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Resumen de como los reptiles aprovechan casi todo el espectro de radiación solar.....	5
Figura 2. Tipos de infrarrojos y como un reptil obtendrá el calor de ellos.....	6
Figura 3. Espectro visible de humanos y reptiles.....	7
Figura 4. Transformación de radiación UVB a la forma de la vitamina D activa.....	8
Figura 5. Algunas de las bombillas comúnmente encontradas en tiendas de mascotas. (1) Bombilla vapor de mercurio, (2) bombillas halogenuro metálico, (3) bombillas fluorescentes compactas, (4) tubo fluorescente T5, (5) bombilla incandescente “spot de calor”, (6) bombilla cerámica, (7) bombilla incandescente halógena.....	11
Figura 6. Año de publicación de las diferentes fuentes bibliográficas.....	14
Figura 7. Número de publicaciones según el número de autores.....	15
Figura 8. Autores que en más publicaciones han participado.....	15
Figura 9. Procedencia de las bibliografías referenciadas.....	16
Figura 10. Revistas que han sido más relevantes en esta revisión bibliográfica.....	17
Figura 11. Rango de colores que se van a usar en los siguientes esquemas para representar la cantidad de UV en la distancia marcada.....	20
Figura 12. Rango de emisión de radiación UV de un tubo T8 10.0 de 18 vatios comparado a su derecha un tubo T5 12% UVB 24 vatios con reflector.....	21
Figura 13. Rango de emisión de radiación UV de una bombilla fluorescente compacta.....	22
Figura 14. Rango de emisión de radiación UV de una bombilla vapor de mercurio “spot”, comparada con una “flood” siendo esta última de 160w.....	22
Figura 15. Rango de emisión de radiación UV de una bombilla de halogenuro metálico.....	23
Figura 16. Comparación de dos imágenes térmicas en las cuales la primera (A) es un macho adulto salvaje de <i>Testudo graeca</i> tomando el sol en su hábitat natural de Murcia (España). La segunda imagen (B) encontramos un adulto de la misma especie, pero asoleándose bajo una bombilla de vapor de mercurio de 100 vatios.....	24

Figura 17. Iguana verde (*Iguana iguana*) con enfermedad metabólica ósea y retención de muda por unas malas condiciones de mantenimiento. Se pueden observar las deformaciones óseas (foto cedida por la clínica veterinaria Tot Exotic, Valencia).....31

Figura 18. Quemadura de casco de un camaleón calyptratus (*Chamaeleo calyptratus*) por tener un terrario incorrecto además de una bombilla de vapor de mercurio demasiado cerca del punto de asoleamiento.....32

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Medidas generales para la evaluación del bienestar de un reptil.....	3
Tabla 2. Zonas Ferguson, especies originales del estudio y comúnmente mantenidas en cautividad, podemos ver el UVI medio que necesitan y el máximo registrado.....	19
Tabla 3. Diferentes combinaciones de iluminación para realizar una aproximada imitación de lo que recibirían los diferentes tipos de reptiles en la naturaleza según las zonas Ferguson.....	28

RESUMEN

El mantenimiento y cuidado de reptiles en cautividad es un proceso complejo y en muchas ocasiones desconocido por los veterinarios y propietarios de estas mascotas, en especial la parte relacionada con la iluminación. El espectro electromagnético del sol está compuesto por radiaciones que viajan a diferentes longitudes de onda. Los reptiles utilizan gran parte de este espectro, por lo que deben proporcionarse en cautividad. Necesitan radiación UVB, imprescindible para la síntesis de vitamina D y el metabolismo del calcio en la mayoría de las especies, entre otras funciones. Además, no se da la suficiente importancia al UVA que será muy importante en la alimentación y reproducción. El espectro visible y calor (infrarrojo) también tendrán un papel fundamental. Ninguna bombilla del mercado satisface las necesidades de los reptiles por lo que serán necesarias la combinación de varias para cubrir la demanda. En esta revisión bibliográfica se ha repasado cuales son los puntos clave para tener en cuenta a la hora de preparar la iluminación para un reptil en cautividad y qué fuentes de radiación o combinaciones de éstas son necesarios para cada tipo de reptil. Además, también se identifican las principales patologías relacionadas con una mala exposición a las radiaciones electromagnéticas.

PALABRAS CLAVE: *UVB, UVA, sol, reptiles, iluminación, vitamina D, calcio.*

ABSTRACT

Feeding and caring of reptiles in captivity conditions is a complex process long time unknown by vets and pet-owners, specially in respect to lighting. Sun electromagnetic spectrum is made of radiations travelling in different wave lengths. As reptiles need a wide part of this spectrum, that must be provided in captivity conditions. Most of species need UVB radiation which is essential for vitamin D syntesis, calcium metabolism and other functions. Besides, it is not highlighted enough the importance of UVA light in nutrition and breeding. Visible spectrum and heating (infrared) play also an essential role. While an ordinary light bulb can not satisfy reptile needs, a combination of them will be required in order to cover reptile demands. In this bibliografic revision, key points have been underlined in order to prepare reptile lightning in captivity conditions, and also which sources of radiation, or their possible combinations, are needed for each kind of reptile. Furthermore, main pathologies related to a bad electromagnetic radiations exposure have been identified.

KEY WORDS: *UVB radiation, UVA light, reptiles, lighting, vitamin D, calcium.*

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha producido una creciente tendencia a los animales de compañía no tradicionales, o también llamados animales exóticos (Grant et al., 2017). En la Unión Europea se estima que hay alrededor de ocho millones de reptiles que se mantienen como mascota (Azevedo et al., 2021). Los reptiles son un tipo de mascota exótica que lleva manteniéndose muchos años en cautividad, pero el conocimiento sobre sus cuidados y bienestar aún es escaso y está en continua mejora y evolución. De hecho, la principal causa de enfermedad en reptiles en cautiverio y por tanto motivo de presentación al veterinario es por unas condiciones inadecuadas de mantenimiento en cautividad. Hay que tener en cuenta que estos animales son ectotermos, por lo que su temperatura corporal depende del ambiente, afectando a su comportamiento y fisiología. Cada especie está adaptada a unos parámetros (tabla 1) que pueden ser difíciles de recrear en cautividad (Wilkinson, 2015).

Uno de los aspectos en los que actualmente hay menor información por parte de veterinarios y propietarios de estas mascotas es el conocimiento de las propiedades del sol y en concreto de la radiación UVB, es por eso por lo que vamos a centrarnos en las emisiones solares y como recrearlas en cautividad con los diferentes tipos de bombillas y productos comerciales.

Tabla 1. Medidas generales para la evaluación del bienestar de un reptil (adaptado de Whittaker et al., 2021).

Terrario	Diseño, espacio, mobiliario y sustrato acordes a la especie. Que le faciliten al animal el correcto movimiento y descanso.
Temperatura	Gradiente descendiente desde el punto de asoleamiento para correcta termorregulación.
	Rango acorde a la especie
	Variaciones lo más naturales posibles (día/noche).
Agua	Disponible para beber e hidratarse.
	Posibilidad de baño.
Humedad	Rango acorde a la especie.
Iluminación	Fotoperiodo adecuado
	Exposición a las emisiones solares naturales o artificiales que contenga radiación UVA y UVB.
	Lo más parecido posible a la que recibe la especie en la naturaleza.
Alimentación	Correcta composición nutricional.
	Correcta alimentación (insectos a los insectívoros etc.)
	Presentación de forma que fomente el comportamiento natural
Socialización / comportamiento	Acorde a la especie (solitarios, gregarios, por sexo etc.).
	Expresión de comportamientos naturales.
Salud física	Ausencia de lesiones o enfermedades.
	Buen manejo acorde a la especie.

1.1. Radiaciones electromagnéticas que emite el sol

La radiación ultravioleta (UV) es la radiación con longitud de onda inferior a la del espectro visible para el ser humano, por lo que no la podremos ver. La longitud de onda que va a abarcar la radiación UV será de 100-400 nanómetros, por lo que su longitud de onda es más corta que la de la luz visible que va de 400 a 750 nm y que la infrarroja que va de 750 a 1500nm (figura 1) (Adkins Elizabeth et al., 2003). Esta última será también de gran importancia ya que es la responsable de la energía térmica, es decir de transmitir al animal el calor necesario para su correcto metabolismo. La radiación infrarroja penetrará en tejidos, fluidos y órganos internos manteniendo la termorregulación del reptil, (M. Baines Frances, 2018).

Dentro de la radiación UV tenemos la ultravioleta A (UVA) que irá de 320 a 400nm y la ultravioleta B (UVB) que irá de 290 o 295nm según la altitud solar y hasta 320nm. Por otra parte, está la radiación ultravioleta C (UVC) dañina para la piel de los animales (M. Baines Frances, 2018). Sin embargo, esta no llega a la superficie de la tierra ya que la atmósfera filtrará todas las longitudes de onda por debajo de 290nm (Adkins Elizabeth et al., 2003).

Los reptiles utilizan casi en su totalidad las diferentes radiaciones emitidas por el sol, tanto la infrarroja para el calor, el espectro visible y UVA para el fotoperiodo y comportamiento natural y la radiación UVB para la síntesis de vitamina D (figura 1). Además, en muchas especies de reptiles, gran parte de la radiación UV va a ayudar a la modulación del sistema inmunológico cutáneo, fortaleciendo este y aumentando la formación de pigmentos. También va a contribuir a la liberación de endorfinas aportando sensación de bienestar al animal y va a inducir la liberación de óxido nítrico que tiene efecto protector (Baines et al., 2016).

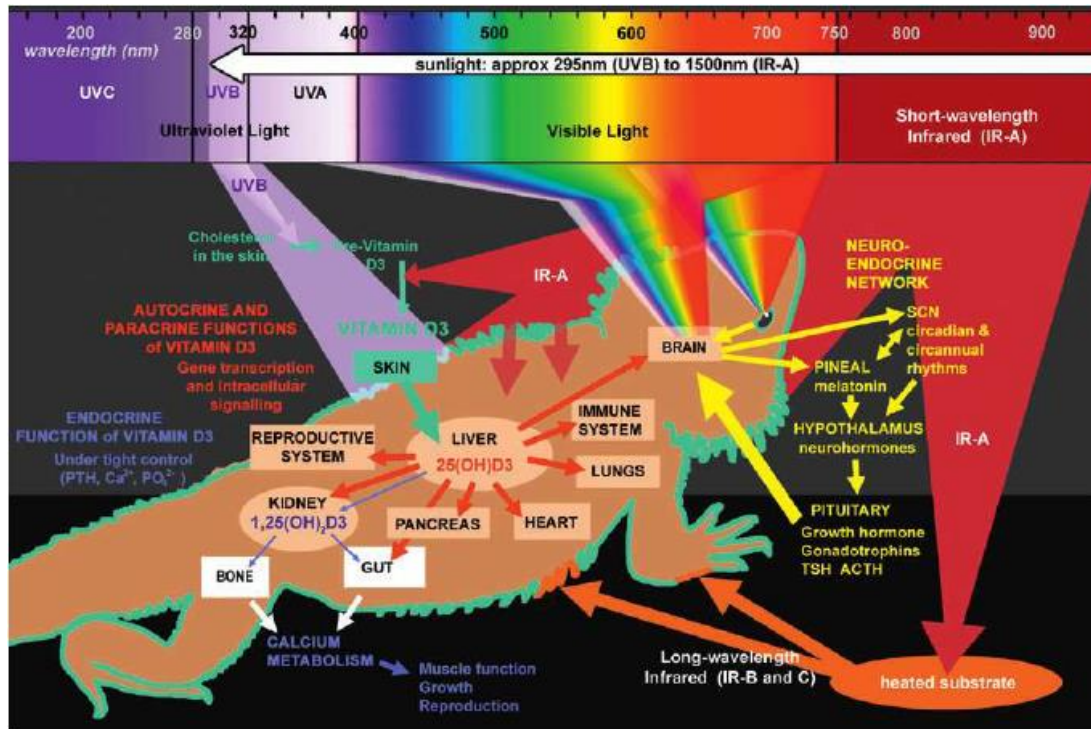


Figura 1. Resumen de como los reptiles aprovechan casi todo el espectro de radiación solar (M. Baines Frances & Cusack Lara M., 2019).

1.2. Importancia del sol y su efecto en los reptiles

1.2.1. Temperatura

Como hemos indicado anteriormente, la temperatura corporal de los reptiles depende en su totalidad del ambiente, ya que estos son animales ectotermos incapaces de regular su temperatura por sí solos. Es por eso por lo que una correcta temperatura en su entorno va a ser de vital importancia para el correcto funcionamiento de su metabolismo.

La temperatura corporal es fundamental en la fisiología, crecimiento y reproducción de los animales ectotermos, por eso los reptiles utilizan fuentes de calor externas y adaptaciones fisiológicas y comportamentales para termorregularse (Barroso et al., 2016). Una gran parte de los reptiles en libertad utilizan el sol como fuente de calor. Los rayos encargados de proporcionar el calor son los rayos infrarrojos, radiaciones entre 750 y 1500 nm, invisibles para los humanos y para la mayoría de los reptiles, a excepción de algunas serpientes. Existen tres tipos de infrarrojos, los de onda corta (IR-A) que son emitidos directamente por el sol llegando a la superficie del animal. Esta radiación atravesará la epidermis sin un calentamiento excesivo, pero

profundizando a órganos internos aportando al animal una correcta termorregulación. Esta radiación de onda corta también calentará la superficie de la tierra fragmentándose en longitudes de onda más largas (IR-B e IR-C), este no va a penetrar la epidermis, si no que va a transferir su energía en forma de calor por convección quedando más superficial, lo que hace que sean menos penetrantes y puedan calentar en exceso la piel del animal (figura 2). (M. Baines Frances & Cusack Lara M., 2019).

En algunos estudios se ha visto que algunas especies de tortugas acuáticas salen al sol a secar su caparazón y así eliminar microorganismos y parásitos externos (Ferguson et al., 2003).

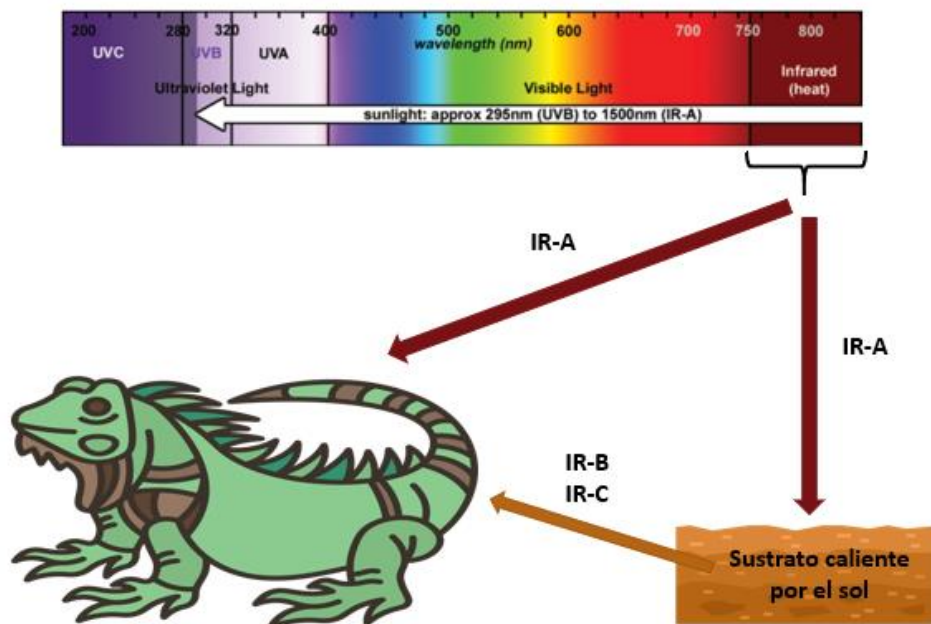


Figura 2. Tipos de infrarrojos y como un reptil obtendrá el calor de ellos (Elaboración propia).

1.2.2. Fotoperiodo

En los reptiles el fotoperiodo es muy importante ya que influirá en el ritmo circadiano del animal. En el establecimiento del fotoperiodo influirá tanto la luz visible como la radiación UVA. (D. Oonincx & van Leeuwen, 2017). Por lo que otro punto importante será el espectro visible y la radiación UVA. Hay que tener en cuenta que, a diferencia de los humanos que tenemos tres células cónicas en la retina que responden a la luz visible, la mayoría de los reptiles tienen cuatro

células cónicas incluyendo dentro de su espectro de luz visible la radiación UVA (figura 3). Por tanto, estas radiaciones son de vital importancia para el reconocimiento de congéneres, en las interacciones sociales y para la alimentación, ya que muchos animales y plantas van a reflejar estos rayos UVA (M. Baines Frances, 2018; D. Oonincx & van Leeuwen, 2017).

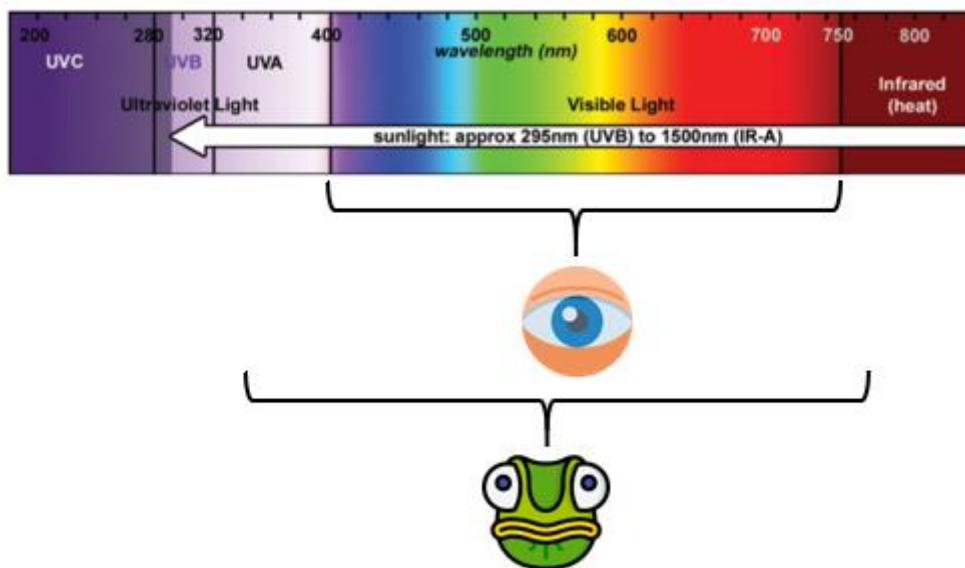


Figura 3. Espectro visible de humanos y reptiles (Elaboración propia).

1.2.3. Síntesis de vitamina D3

La vitamina D3 (1,25-dihidroxitamina D3 o calcitriol) es una vitamina liposoluble esencial para muchas especies de vertebrados. Aunque se puede obtener a través de la dieta, la mayoría de los reptiles diurnos la obtienen a través de la síntesis endógena tras una exposición a la radiación UVB. (Watson & Mitchell, 2014).

En la piel, los reptiles tienen precursores de la vitamina D o provitamina D3 (7-dehidrocolesterol), al exponerse esta a la radiación UVB pasa a pre-vitamina D3, la cual se va a isomerizar a vitamina D3 por un proceso termodependiente. Una vez que ya tenemos en la piel la vitamina D3 se unirá a una proteína transportadora de vitamina D que la hará pasar a la sangre, se hidroxila en el hígado pasando a 25-hidroxitamina D3 o calcidiol y luego en el riñón para así convertirse en la forma biológicamente activa (1,25-dihidroxitamina D3 o calcitriol) (figura 4). La cantidad de todos estos foto productos dependen de la exposición a la radiación

UVB. Este proceso está regulado por las glándulas paratiroides, cuando se está sintetizando el calcitriol en los riñones hay una retroalimentación negativa que inhibe la secreción de parathormona a nivel de las glándulas paratiroides, pero si los niveles de calcitriol son bajos se producirá más parathormona para inducir la hidroxilación de la 25-hidroxitamina D3 para así transformarla en la forma activa, esta forma activa es la mayor responsable de la absorción de calcio a nivel intestinal. (Edmonds et al., 2018; Watson & Mitchell, 2014).

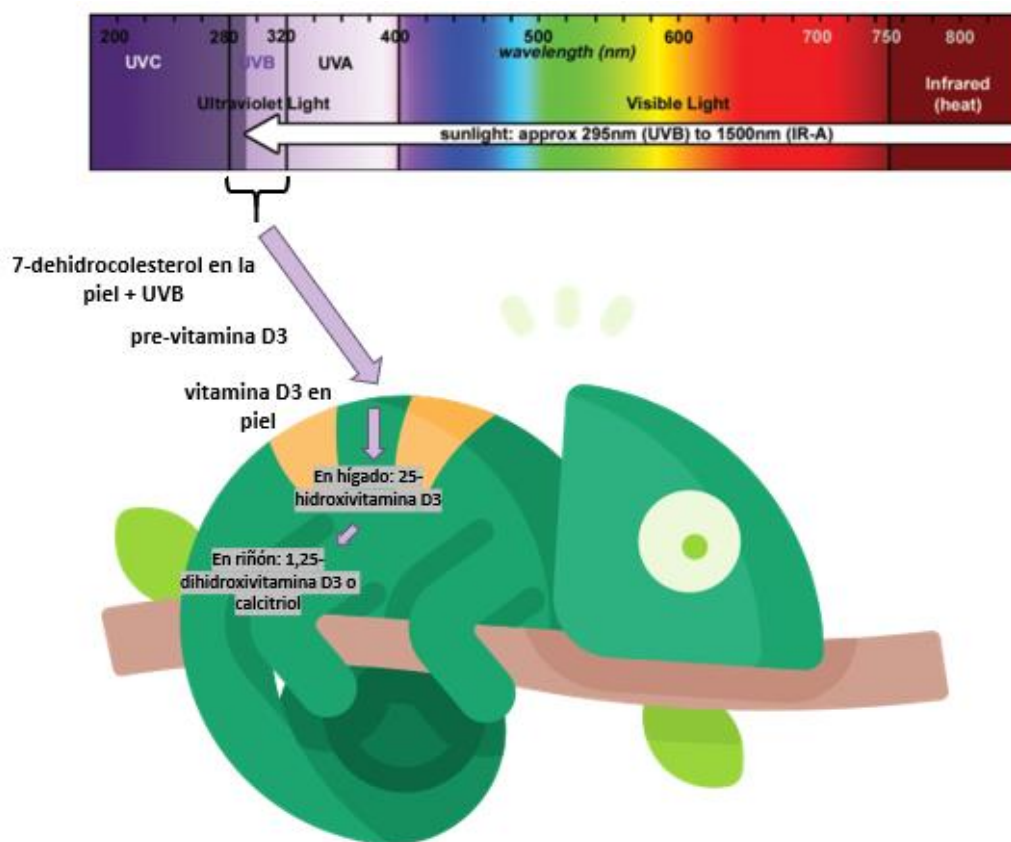


Figura 4. Transformación de radiación UVB a la forma de la vitamina D activa (Elaboración propia).

Como se ha comentado la función principal de esta vitamina es el mantenimiento y control de la homeostasis del calcio, aumentando la absorción del calcio a nivel intestinal, lo que será de vital importancia para la mineralización ósea. La enfermedad metabólica ósea es una de las patologías más importantes en reptiles mantenidos en cautividad, por lo que un aporte adecuado de UVB será esencial para prevenir esta enfermedad y otras relacionadas con el déficit de calcio en muchas de las especies de reptiles (Selleri Paolo & di Girolamo Nicola, 2012).

Respecto al aporte dietético de vitamina D muy pocos alimentos poseen vitamina D de forma natural (Holick, 2004). Se ha visto que los reptiles diurnos sin acceso a UVB son propensos a desarrollar deficiencia de vitamina D, incluso aunque se le aporte en la dieta (D. G. A. B. Oonincx et al., 2020). Hay estudios que demuestran que algunos reptiles pueden seleccionar alimentos más ricos en vitamina D si tienen déficit de esta (D. G. A. B. Oonincx et al., 2010).

Un estudio describe que una correcta suplementación con vitamina D puede conseguir una concentración sanguínea de calcio similar a la que consigue la administración de radiación UVB (Hetényi et al., 2020), pero hay que tener en cuenta que el exceso de vitamina D en la dieta puede ser tóxico y causar la muerte de los reptiles, mientras que si esta es sintetizada por la radiación UVB no se creará exceso de vitamina D y por tanto no habrá efectos tóxicos, ya que ante un exceso de radiación UVB se producen foto productos biológicamente inertes (Ferguson et al., 2010). Muchas presas tienen bajo contenido de vitamina D, por lo que la síntesis a través de la radiación UVB puede ser más importante de lo que se creía (Carman et al., 2000). Además, la vida media de la vitamina D sintetizada por la piel es mucho más larga que la dietética (Watson & Mitchell, 2014).

Es importante conocer las diferencias en la transformación de radiación UVB en vitamina D de las diferentes especies, ya que no todas tienen porqué ser iguales. La mayoría de los estudios han sido realizados en reptiles diurnos, pero existen algunas diferencias con las especies crepusculares y con las serpientes (Gould et al., 2018). Se cree que los ofidios al ser carnívoros obtienen la vitamina D de su dieta por lo que la radiación UVB no juega un papel importante en el metabolismo del calcio. Se realizó un estudio en serpientes del maíz (*Pantherophis guttatus*) que sugiere lo contrario, ya que se midió la concentración en plasma de 25-hidroxivitamina D en serpientes expuestas a radiación UVB y otras que no lo estaban. En las serpientes expuestas a UVB aumentó significativamente la concentración de 25-hidroxivitamina D en un periodo de 4 semanas, mientras que en las no expuesta no hubo ningún cambio, aun así, se requieren más estudios para saber las consecuencias para la salud y desarrollo de estos animales. (Acierno et al., 2008). En 2018 se realizó otro estudio, esta vez en pitones birmanas (*Python bivittatus*) en las que se midió en plasma la concentración de vitamina D tras 10 meses de exposición a UVB y la concentración fue considerablemente más alta. En serpientes los síntomas de deficiencia de vitamina D raramente se detectan, lo que podría indicar que adquieren suficiente vitamina D a través de su dieta, no se pudo responder a si estos niveles elevados de vitamina D tras la exposición a la radiación UVB tiene beneficios para la salud de las serpientes, por lo que aún se requieren más estudios (Bos et al., 2018).

Otras de las especies que no se suelen tener tan en cuenta a la hora de proporcionarles radiación UVB son las nocturnas. Carman y sus colaboradores en el 2000 realizaron un estudio comparando en la naturaleza la capacidad de biosíntesis de vitamina D de un gecko nocturno (*Hemidactylus turcicus*) con la del lagarto diurno (*Sceloporus olivaceo*). Se ha demostrado que las concentraciones de provitamina D3 eran similares y que ambos consiguieron niveles óptimos de vitamina D3 teniendo el gecko nocturno una exposición al sol mucho menor. Esto indica que el gecko puede tener una adaptación en la piel que le permite una mayor capacidad de absorción de UVB ya que su exposición a esta va a ser mucho más limitada, siendo el amanecer y el atardecer cuando recibirá algo de luz. El análisis del contenido digestivo mostró que algunos geckos tenían vitamina D obtenida de la dieta, pero otros no. Esta fue la primera evidencia de que la mayoría de los geckos nocturnos pueden depender de la biosíntesis de vitamina D a través de la iluminación, y que lo consiguen mediante un mecanismo de transformación más sensible para compensar la carencia de UVB (Carman et al., 2000). Otro estudio fue realizado en 2020 la especie nocturna *Eublepharis macularius* en cautividad, se comparó a un grupo expuesto a radiación UVB desde la eclosión hasta los 6 meses con otro que no tubo exposición a esta, pero todos los animales fueron alimentados ad libitum y suplementados con vitamina D en la dieta, al terminar el ensayo la concentración de metabolito de vitamina D3, 25(OH)D3, de los animales expuestos a UVB fue significativamente mayor, pero el crecimiento y la ganancia de peso fueron similares en ambos grupos junto con la ausencia de síntomas clínicos, lo que sugiere que en el caso de esta especie nocturna de gecko que la vitamina D en la dieta por sí sola puede cubrir los requerimientos del animal, faltaría por investigar si los niveles más altos de vitamina D del grupo expuesto tienen otros beneficios para la salud de la especie. La falta de exposición a rayos UVB no parece obstaculizar el desarrollo de los geckos leopardo juveniles si se les proporciona suficiente calcio y vitamina D en la dieta (D. G. A. B. Oonincx et al., 2020). Aun así, este aporte es con productos comerciales, ya que los insectos no tienen suficiente vitamina D, este aporte dietético será menos natural y con más riesgo de toxemia que si la vitamina D fuera captada a través de la radiación UVB.

Se realizó un estudio en sapos vientre de fuego (*Bombina orientalis*), que es un anfibio, los resultados indicaron que el aporte de UVB fue utilizado para la síntesis de vitamina D y que es posible que los suplementos comerciales en la dieta no compensen completamente la exposición a esta radiación (Michaels et al., 2015).

Por lo tanto, la mayoría de los reptiles diurnos no necesitarán suplementación de vitamina D en la dieta ya que la obtendrán de la iluminación, pero los nocturnos sin exposición a la radiación UVB sí que necesitará esta suplementación extra ya que con una dieta normal en cautividad no

será suficiente, teniendo en cuenta la toxicidad que puede conllevar la hipervitaminosis D por ingesta excesiva. Por otro lado, parece ser que los carnívoros podrán sacar la vitamina D de sus presas enteras, pero habrá que ver si esta es suficiente (Wilkinson, 2015).

Como se ha expuesto anteriormente, la radiación solar es compleja y por tanto será difícil de recrear en cautividad. En el mercado existen numerosas bombillas y productos comerciales emisores de radiación (figura 5) que, conociéndolos bien, permiten asemejar al máximo estas condiciones en cautividad. Entre los más conocidos tendremos: las bombillas emisoras de UVB además de otros tipos de emisiones (tubos fluorescentes, bombillas fluorescentes compactas, bombillas de vapor de mercurio y bombillas halogenuro metálico), las emisoras calor principalmente (infrarrojos, bombillas incandescentes y bombillas de colores) y otra serie de productos calefactores o emisores de luz, cada una de estas por sí solas no emitirán todas las radiaciones electromagnéticas que necesitan los reptiles pero con una buena combinación de los productos comerciales asemejaremos lo máximo posible al sol.



Figura 5. Algunas de las bombillas comúnmente encontradas en tiendas de mascotas. (1) Bombilla vapor de mercurio, (2) bombilla halogenuro metálico, (3) bombilla fluorescente compacta, (4) tubo fluorescente T5, (5) bombilla incandescente “spot de calor”, (6) bombilla cerámica, (7) bombilla incandescente halógena (Elaboración propia).

2. OBJETIVOS

Dada la importancia de las radiaciones electromagnéticas en el bienestar de los reptiles mantenidos en cautividad y, ante la enorme cantidad de productos disponibles en el mercado, se ha propuesto como objetivos del presente trabajo de final de grado:

1. Identificar los puntos clave a tener en cuenta a la hora de elegir las fuentes de radiación de un reptil.
2. Determinar cuál sería la mejor opción para cada tipo de reptiles y las posibles combinaciones, en cuanto a iluminación se refiere.
3. Identificar las principales patologías asociadas a una incorrecta exposición a las radiaciones electromagnéticas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo este trabajo de revisión bibliográfica se consultaron libros de reptiles además de numerosos artículos científicos utilizando las bases de datos Google Scholar y Pubmed para de esta forma tener información suficiente, verídica y contrastada. Se han revisado artículos de los últimos 21 años, siendo el más antiguo del año 2000 y el más actual del 2021, esto implicaría que ninguno de los documentos seleccionados esté fuera de ese periodo.

La búsqueda ha sido realiza en inglés, a través de palabras y frases clave como “UVB in reptiles”, “UVB”, “Vitamin D”, “Ferguson zones” y otro tipo de frases y combinaciones de estas. Los artículos fueron elegidos por su contenido, independientemente de su país de origen.

Para la gestión de la bibliografía de este trabajo se utilizó “Mendeley” el cual clasificó la bibliografía según las normas APA.

Durante esta revisión bibliográfica se seleccionaron los documentos según una serie de criterios de inclusión:

- Publicaciones en libros de reptiles y medicina de reptiles.
- Artículos en el cual el título está relacionado con la temática a desarrollar.
- Artículos publicados más tarde del 2000, teniendo preferencia los más actuales.
- Artículos con algún apartado sobre iluminación o manejo de reptiles.
- Artículos sobre las emisiones solares.
- Artículos sobre estudios de campo en comportamiento de reptiles.
- Artículos sobre enfermedades de reptiles.
- Artículos que tratan la radiación UVB y su relación con la síntesis de vitamina D.

Los criterios de exclusión fueron:

- Artículos publicados antes del 2000.
- Artículos con idioma diferente al inglés o español.
- Artículos con parte de su contenido inaccesible.
- Artículos los cuales venían de una fuente dudosa o con información incompleta.

Para el tratamiento estadístico de los datos se creó una hoja de Excel en la que se anotó el nombre del artículo o libro, revista, fecha de publicación, nombre y número de los autores. Una

vez realizado este Excel se realizaron diferentes tablas de las que se sacaron las gráficas que aparecerán en resultados.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados del análisis bibliométrico

Para la revisión bibliográfica y análisis bibliométrico se realizó una búsqueda inicial sin filtros en Pubmed con las palabras “UVB in reptil” de la cual se obtuvieron 31 resultados, de estos 31 resultados se seleccionaron 19 de interés los cuales han sido usados para el estudio bibliográfico. Se realizó el mismo procedimiento, pero esa vez en Google Scholar, obteniéndose en este 7.030 resultados por lo que aplicaron filtros para dejar artículos publicados después del año 2000 y que sean solo publicaciones científicas, quedándonos así con 530 resultados, de los cuales se seleccionaron por el título los que más relación tenían con el estudio bibliográfico. Tras leer multitud de artículos, consultar libros de interés y realizar búsquedas más específicas como “Ferguson zones”, “Metabolic bone disease in reptiles” entre otras muchas para encontrar la información que faltaba, se terminaron de seleccionar el resto de las bibliografías utilizadas siendo empleadas finalmente un total de 41 referencias bibliográficas.

Como se puede observar en la siguiente gráfica (figura 6), podemos ver dentro de los artículos seleccionados, el número de publicaciones que hubo cada año. Se puede observar que en 2010 hubo un aumento de información de interés y luego de nuevo en los últimos años se aprecia un ligero incremento de las publicaciones utilizadas, lo que podría indicar un creciente interés por la investigación sobre este tema.

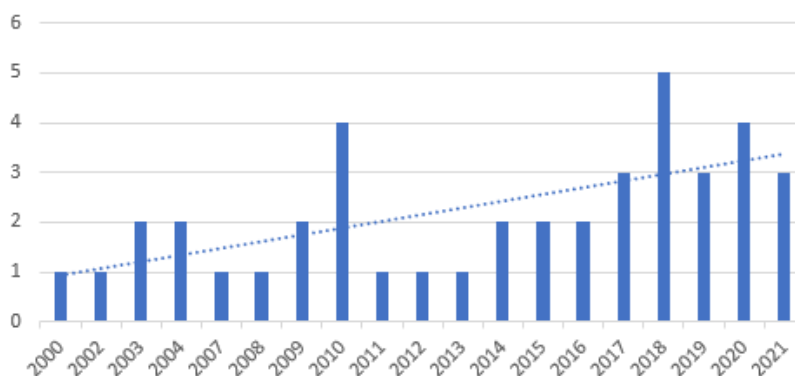


Figura 6. Año de publicación de las diferentes fuentes bibliográficas.

Por otro lado, en la siguiente gráfica (figura 7) podemos observar que a la hora de hablar sobre la iluminación en los reptiles y sus efectos es muy común que las publicaciones sean realizadas en equipo y participen multitud de autores, siendo siete autores el número más común de participantes por publicación y solo 5 de las publicaciones citadas han sido realizadas en solitario por un único autor.

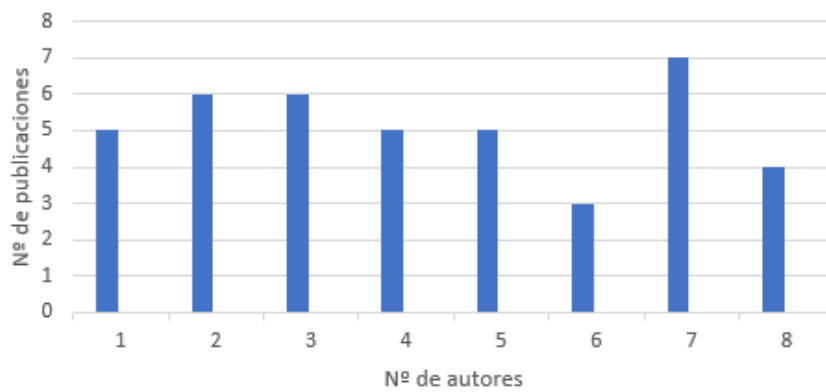


Figura 7. Número de publicaciones según el número de autores.

En la siguiente figura (figura 8) se representan cuáles son los autores que han participado en un mayor número de publicaciones, apareciendo los que han participado en más de 6 referencias, siendo los más relevantes Ferguson y Baines.

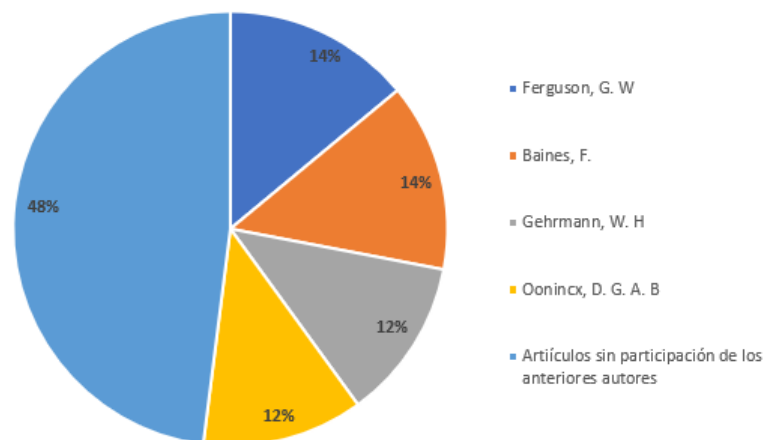


Figura 8. Autores que en más publicaciones han participado.

Para el desarrollo de esta revisión bibliográfica se han empleado casi en su totalidad publicaciones en artículos de revistas de interés, a excepción de dos libros y la web oficial de la organización mundial de la salud (figura 9).

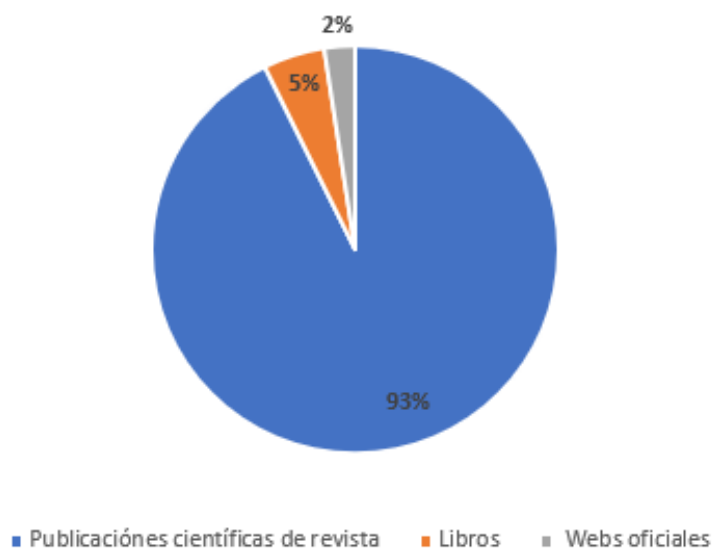


Figura 9. Procedencia de las bibliografías referenciadas.

También cabe destacar cuales son las revista que más publicaciones de interés han realizado, siendo “zoo Biology” la más participativa en este estudio, con 5 menciones bibliográficas. Para representar esto se ha realizado un gráfico con las revistas que han participado 3 o más veces (figura 10).

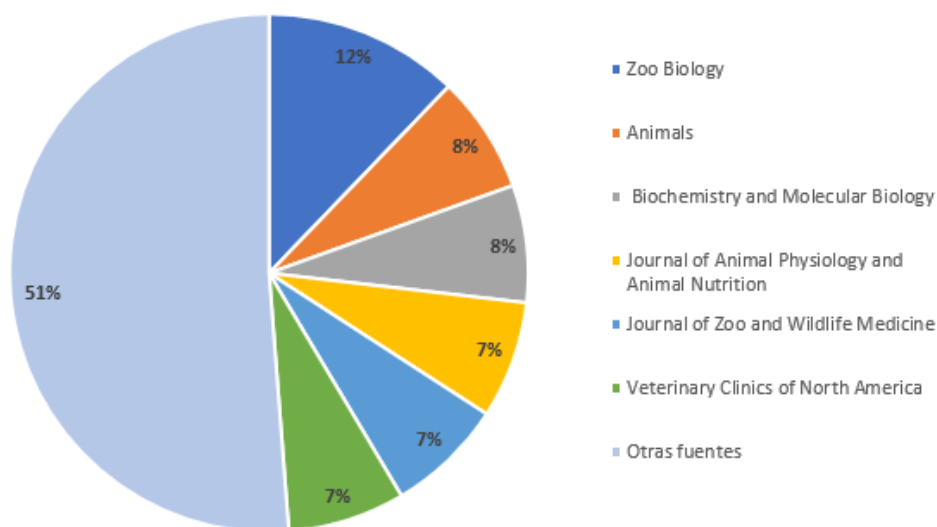


Figura 10. Revistas que han sido más relevantes en esta revisión bibliográfica.

A lo largo de este estudio bibliográfico se ha podido identificar un creciente interés por el cuidado y salud de las mascotas exóticas, incluido el mayor interés por la investigación sobre la iluminación que estos animales necesitan en un entorno cautivo, ya que son muy dependientes del ambiente.

La mayoría de los artículos están formados por varios autores, lo que indica que son estudios conjuntos en colaboración de diferentes profesionales del tema, algo bastante interesante ya que hace que la información final ofrecida sea más contrastada y debatida que si fuera por un único autor.

Hay algunos autores, como Ferguson y Baines entre otros, que destacan en las publicaciones y referencias bibliográficas en lo que iluminación en reptiles se refiere, estos autores han dedicado gran parte de su tiempo al estudio de estos animales y como poder mantenerlos en cautividad de la forma más natural posible.

En cuanto a las diferentes revistas científicas también se puede identificar cierto interés por algunas de ellas sobre el tema, pero en general multitud de revistas han publicado alguna vez algo relacionado, algo que confirma el creciente interés por este tema tan desconocido para algunos.

5. DISCUSIÓN

5.1. Discusión del contenido de los documentos seleccionados

5.1.1. ¿Qué UVB reciben los reptiles en la naturaleza? Zonas Ferguson, recomendaciones en cautividad según la especie

Como se ha demostrado anteriormente, el sol y en especial la radiación UVB son de suma importancia para el correcto funcionamiento del metabolismo de los reptiles, es por eso que de 2002 a 2008 Ferguson y sus compañeros realizaron un estudio de la exposición voluntaria al sol y la radiación UV de 15 especies de reptiles silvestres en el sur y oeste de Estados Unidos , se hicieron mediciones de la radiación UVB de donde normalmente vivían y se asoleaban las distintas especies de serpientes y lagartijas a diferentes horas del día, también se registraron temperaturas del aire y del sustrato para tener un mejor conocimiento de su entorno en libertad (Ferguson et al., 2010).

Se ha detectado una gran diferencia entre la exposición al sol de los diferentes tipos de reptiles, por lo que se han clasificado las especies en cuatro zonas UVB de acuerdo con sus hábitat y disponibilidad de sol. Estas zonas se conocen como “Zonas UVB” o “Zonas Ferguson” (Tabla 2), y son de gran importancia para poder extrapolar los requerimientos de sol y radiación UV a las especies mantenidas en cautividad. Las zonas Ferguson dividen las distintas especies de reptiles según su comportamiento termorregulador, preferencias de microhábitat y exposición a la radiación UVB a partir de estudios de campo de individuos al azar (Edmonds et al., 2018), reflejando los rangos de UV de más de 250 especies comúnmente mantenidas en cautividad (M. Baines Frances & Cusack Lara M., 2019). Se necesitan más estudios de campo en tortugas, cocodrilos y grandes lagartos de distintas regiones del mundo para actualizar y aumentar el conocimiento de la iluminación en reptiles (Ferguson et al., 2010).

Tabla 2. Zonas Ferguson, especies originales del estudio y comúnmente mantenidas en cautividad, podemos ver el UVI medio que necesitan y el máximo registrado, adaptado de Ferguson et al., 2010.

Zona ferguson	Características del reptil	Especies del estudio original	Especies mantenidas normalmente en cautividad	Media de UVI a lo largo del día	Máxima UVI captada
Zona 1	Crepusculares, o que viven en la sombra.	<i>Agkistrodon piscivorus</i> (serpiente boca de algodón), <i>Elaphe obsoleta</i> (serpiente ratonera de texas), <i>Anolis lineatopus</i> (anolis marrón jamaicano), <i>Nerodia fasciata</i> (serpiente de agua de banda ancha).	<i>Eublepharis macularius</i> (gecko leopardo), <i>Eublepharis macularius</i> (gecko crestado), <i>Pantherophis guttatus</i> (serpiente del maiz), <i>Python bivittatus</i> (pitón de Birmania).	0 - 0,7	0,6 - 1,4
Zona 2	Tomadores de sol ocasionales.	<i>Thamnophis proximus</i> (culebra listonada occidental), <i>Anolis grahami</i> (anolis turquesa jamaicano), <i>Anolis carolinensis</i> (anolis verde), <i>Nerodia erythrogaster</i> (culebra de agua de vientre claro).	<i>Chelonoidis carbonaria</i> (tortuga terrestre de patas rojas), <i>Corucia zebrata</i> (escinco gigante de Salomón), <i>Physignathus cocincinus</i> (dragón de agua chino), <i>Boa constrictor</i> (boa constrictor).	0,7 - 1	1,1 - 3
Zona 3	Tomadores de sol directo o parcial.	<i>Uta stansburiana stejnegeri</i> (lagarto de mancha lateral), <i>Sceloporus undulatus hyacinthinus</i> (lagarto de la cerca oriental), <i>Anolis sagrei</i> (anolis marrón cubano), <i>Sceloporus olivaceus</i> (lagartija escamosa de texas).	<i>Pogona vitticeps</i> (dragón barbudo), <i>Testudo graeca</i> (tortuga mora), <i>Phelsuma standingi</i> (Gecko diurno de Standing).	1 - 2,6	2,9 - 7,4
Zona 4	Tomadores de sol directo	<i>Holbrookia maculata</i> (lagartija sin orejas), <i>Sceloporus graciosus</i> (Lagarto artemisa), <i>Sceloporus undulatus garmani</i> (Lagarto de la pradera del norte).	<i>Uromastix geyri</i> (lagarto de cola espinosa), <i>Sauromalus ater</i> (chacahuala del Noroeste), <i>Cyclura cornuta</i> (iguana cornuda).	2,6 - 3,5	4,5 - 9,5

Podemos ver que la cantidad de UV óptima de cada zona Ferguson se mide en el índice de radiación ultravioleta (UVI por sus siglas en inglés), esto es una medida de la intensidad de la radiación ultravioleta sobre la superficie de la tierra, los valores de este índice empiezan en 0 si no hay nada de radiación UV y va subiendo según aumenta la radiación, a mayor UVI mayor será el potencial de daño a la piel y ojos, pudiendo ser peligroso si es muy alto (Rehfuess, 2002).

Hay algunas especies de lagarto, como el camaleón pantera (*Furcifer pardalis*), que puede regular la exposición a la radiación UVB según sus necesidades independientemente de la temperatura (Karsten et al., 2009), pero sin embargo otros reptiles se fijan más en que haya una buena fuente de calor, por eso es importante que el punto de asoleamiento tenga un buen equilibrio entre el UVB, UVA, espectro visible y calor.

Se recomienda que, aunque estimemos la radiación UV que necesita un reptil en cautividad y la repliquemos, crear siempre un gradiente de esta radiación donde el animal tenga la posibilidad de un escondite con cero UV, de esta manera podrá elegir en que zona estar.

Si el animal evita la bombilla de UVB o pasa demasiado tiempo en la cueva, se debe revisar la intensidad de UVB y temperatura, ya sea alejando la bombilla o cambiándola por otra, ya que esto puede indicar que la UVB es demasiado fuerte, la temperatura en el punto de asoleamiento no es correcta o que la luz visible no es la apropiada.

En resumen, hay que evaluar la radiación que llegará a la zona de asoleamiento, es decir en el punto más cercano que se puede poner el animal a tomar el sol y el gradiente que va a generar, decidiendo así el tipo de bombilla y el tipo de materiales que hay entre la bombilla y el animal, ya que pueden reducir o incluso impedir el paso de UVB (Ferguson et al., 2010).

5.1.2. Fuentes de radiación UVB

Muchos reptiles mantenidos en cautividad, por las condiciones climáticas de la zona no tendrán acceso al sol directo. Por ello vamos a revisar las diferentes fuentes comerciales que asemejan como mínimo la radiación UVB del sol para así poder imitar de una forma lo más exacta posible el entorno natural de las diferentes especies de reptiles.

Hay varios tipos de bombillas emisoras de UVB, cada una con sus ventajas y desventajas, para una comprensión más sencilla, tras cada explicación de los distintos tipos de bombillas se pondrá una figura representativa de su emisión de UV, siendo cada cuadro 5cm de distancia y significando cada color una cantidad de UV alcanzada a esa distancia (figura 11).



Figura 11. Rango de colores que se van a usar en los siguientes esquemas para representar la cantidad de UV en la distancia marcada (M. Baines Frances, 2018).

5.1.2.1. Tubos fluorescentes

Existen dos tipos, los tubos T8, que se han quedado más anticuados ya que proporcionan luz difusa y radiación UVB de baja intensidad en un campo relativamente grande y, por otro lado, los tubos T5 que tienen un rendimiento mucho mayor, en especial si su porta tubos tiene reflector de aluminio como suele ocurrir (figura 12). Proporcionan una mayor cantidad de UVB y espectro visible sobre un área más grande, ambos emiten muy poco calor y por tanto necesitarán un aporte de calor extra para completar los requerimientos del animal (M. Baines Frances, 2018).

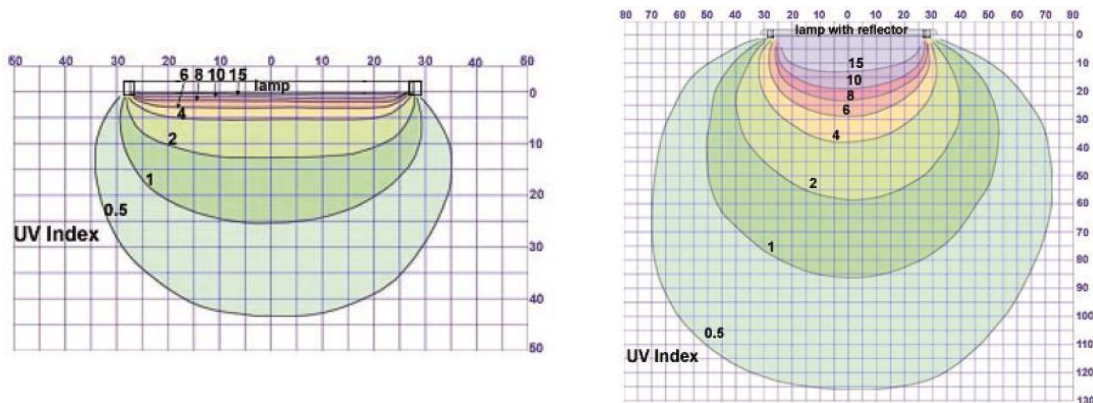


Figura 12. Rango de emisión de luz UV de un tubo T8 10.0 de 18 vatios comparado con la imagen de debajo, un tubo T5 12% UVB 24 vatios con reflector (Baines et al., 2016).

5.1.2.2. Bombillas fluorescentes compactas

Proporcionan un gradiente de UVB intenso, pero dentro de un área pequeña (figura 13), la intensidad de luz es muy baja y el calor emitido también, por lo que necesitarán aporte de calor y espectro visible extra para completar los requerimientos del animal (M. Baines Frances, 2018).

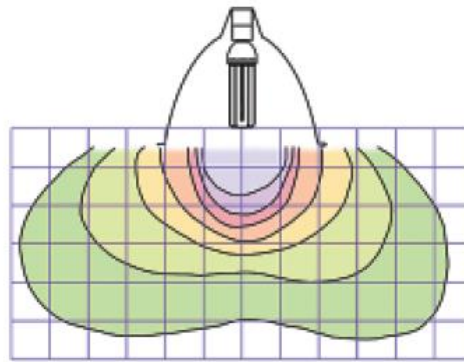


Figura 13. Rango de emisión de radiación UV de una bombilla fluorescente compacta.

5.1.2.3. Bombillas de vapor de mercurio

Estas bombillas incluyen su balastro propio ya incorporado para poder funcionar y emiten todo en uno, producen un alto UVB, UVA, espectro visible (algo insuficiente para la visión del reptil) y calor (infrarrojo- A) (Thomas et al., 2019), es como una luz solar artificial a la que habría que aportar espectro visible extra (figura 14). Las hay tipo “spot” que emiten la radiación más concentrada hacia abajo y tipo “flood” que reparte más la radiación por el terrario (M. Baines Frances, 2018).

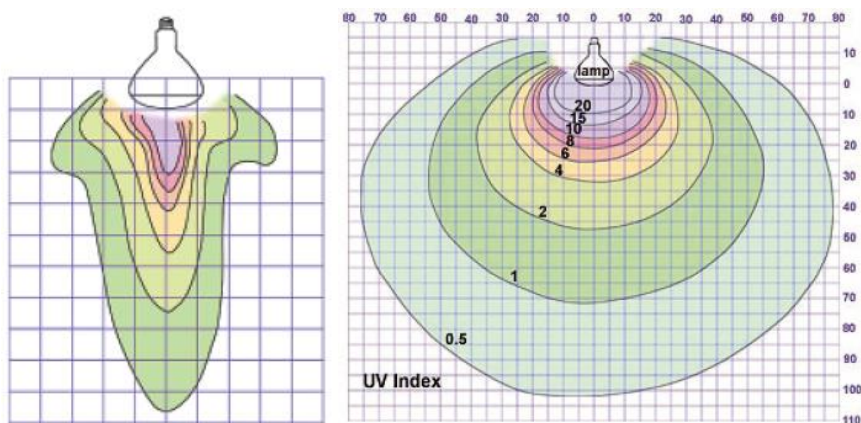


Figura 14. Rango de emisión de radiación UV de una bombilla vapor de mercurio “spot”, comparada con una “flood” siendo esta última de 160w (Baines et al., 2016; M. Baines Frances, 2018)

5.1.2.4. Bombillas halogenuro metálico

Este tipo de bombillas emiten niveles muy altos de luz visible, radiación UVA y radiación UVB, también proporcionan calor, lo que las hace un muy buen simulador del sol, hay que tener en cuenta que incluso las “flood” emiten haces de luz estrechos (figura 15). Necesitan de un balastro electrónico externo para funcionar (M. Baines Frances, 2018).

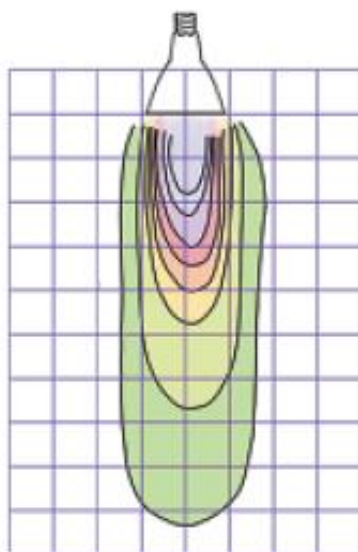


Figura 15. Rango de emisión de radiación UV de una bombilla de halogenuro metálico (M. Baines Frances, 2018).

Todos estos esquemas son orientativos y pueden variar su distancia y forma en función de la marca, del tiempo de uso, de la potencia, de si hay reflector o no y de si hay materiales entre la bombilla y el animal (Baines et al., 2016; M. Baines Frances, 2018). Además, las bombillas van perdiendo eficacia con el tiempo por lo que deben reemplazarse con la frecuencia que indica el fabricante (Chitty, 2011). Lo ideal para saber la radiación exacta es usar un medidor de UV. No todas las longitudes de onda de UVB son iguales de eficaces a la hora de la síntesis de vitamina D, hay medidores UV más específicos a esta síntesis (Schmidt et al., 2010).

5.1.3. Fuentes de radiación no UVB

Se han estudiado las bombillas emisoras de radiación UVB, algunas emiten calor, otras también UVA y espectro visible, pero como ya sabemos, los reptiles necesitan UVB, UVA, calor y un espectro visible de calidad, por lo que se hace muy difícil con una sola bombilla simular la luz del sol y el entorno natural del animal. Hay que partir de que ningún sistema de iluminación va a conseguir el espectro completo y la intensidad que nos da el sol (figura 16) y su variación a lo largo del día gracias al amanecer, anochecer y movimientos del sol. Tenemos que intentar simular lo máximo posible al sol y para esto lo mejor es elegir una combinación de bombillas que se adapte lo mejor posible a la especie de reptil que se mantiene, además de proporcionar un refugio para que el animal pueda decidir cuanta iluminación recibe en cada momento (M. Baines Frances & Cusack Lara M., 2019).

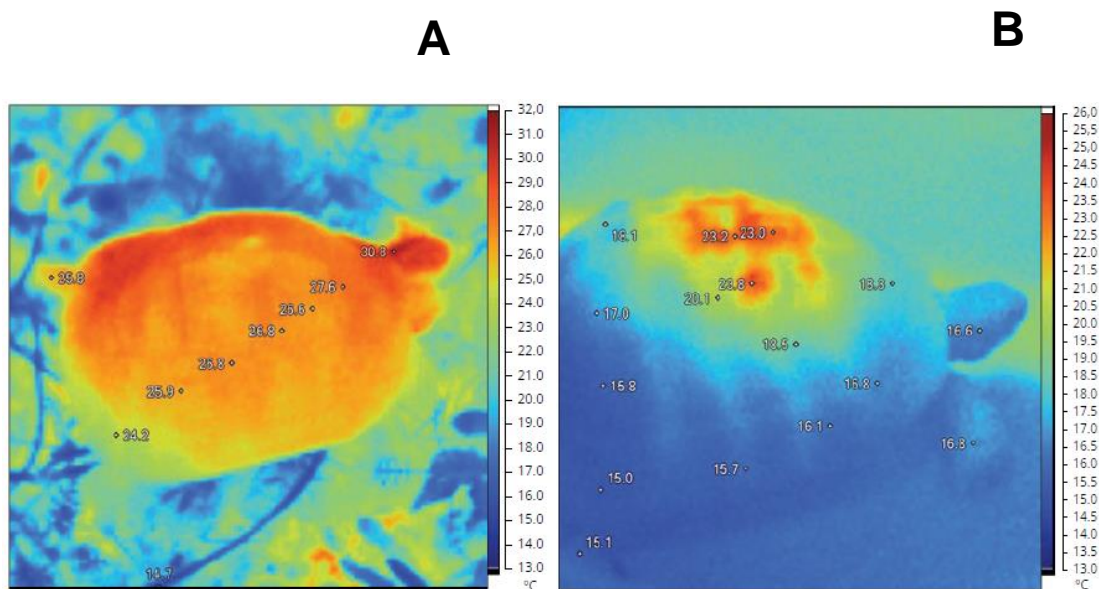


Figura 16. Comparación de dos imágenes térmicas en las cuales la primera (A) es un macho adulto salvaje de *Testudo graeca* tomando el sol en su hábitat natural de Murcia (España). La segunda imagen (B) encontramos un adulto de la misma especie, pero asoleándose bajo una bombilla de vapor de mercurio de 100 vatios (M. Baines Frances, 2018).

En la anterior imagen se ve claramente que la tortuga que está tomando el sol natural tiene el calor repartido uniformemente a lo largo del cuerpo alcanzando todos sus tejidos, mientras que la cabeza y extremidades del animal bajo la bombilla se encuentran a la temperatura ambiente,

concentrándose todo el calor en la misma zona, esto va a afectar a la termorregulación del animal y por tanto a la síntesis de vitamina D y todos los procesos fisiológicos del reptil.

A continuación, vamos a ver otros tipos de bombillas para combinar con las anteriores y poder así asemejar de una manera más precisa al sol, estas son las fuentes de calor.

El calor es mejor proporcionarlo desde arriba y si es posible mediante un termostato para evitar la hipotermia o hipertermia. Hay que colocar un termómetro en el punto de calor y otro alejado para ver el gradiente que estamos generando (Chitty, 2011).

5.1.3.1. Bombillas incandescentes (Bombillas halógenas o con filamento de tungsteno tipo spot de calor)

Hay que tener en cuenta que la mayoría no van a contener radiación UVB significativa, pero pueden emitir una óptima radiación UVA, aportan luz visible e infrarrojos de onda corta (IR-A) que será la mejor opción para la termorregulación del reptil ya que su calor es más penetrante, también algunos de onda larga. Estas características las hacen muy utilizadas para crear zonas de asoleamiento en combinación con otras bombillas de UVB a las que les falta calor, UVA o espectro visible. Hay que tener cuidado con no causar quemaduras, por ello se recomienda que el calor cubra al menos una zona de asoleamiento tan grande como el animal que tiene que calentar, siendo esta radiación uniforme, por lo que es preferible poner varias bombillas de poca potencia que poner una sola bombilla muy potente pero que solo caliente un punto del animal (M. Baines Frances & Cusack Lara M., 2019).

5.1.3.2. Infrarrojos (Bombillas cerámicas, paneles radiantes y mantas calefactoras)

Estos productos emitirán únicamente infrarrojos de longitud de onda larga (IR-B e IR-C), serán menos penetrantes que los de onda corta, pero son ideales como calentadores nocturnos ya que no nos aportarán nada de espectro visible. Son desaconsejados como aporte de calor en la zona de asoleamiento diurna, ya que la ausencia de luz es una gran desventaja porque muchos reptiles usan la luz como señal de asoleamiento, además de que calientan en exceso la epidermis superior aumentando el riesgo de quemaduras (M. Baines Frances & Cusack Lara M., 2019).

5.1.3.3. Bombillas de colores

Existen varios tipos, tanto la roja como la azul deben evitarse, ya que los reptiles necesitan luz blanca de espectro completo durante el día. La mayoría de estas bombillas de calor llamadas “infrarrojas” solamente son bombillas incandescentes cuyo vidrio es de color rojo, esto va a distorsionar la visión del reptil y estimulará de una manera muy pobre al animal. En cuanto a las bombillas azules de “luz de luna” igual que las rojas, fueron diseñadas para la noche, pero los reptiles pueden ver ambos colores. Si lo pensamos, la luz de la luna es luz del sol reflejada, no es una luz azul o roja. Los reptiles no deben estar iluminados por la noche ya que su ritmo circadiano necesita oscuridad y luz del día. La mejor opción es por el día una buena iluminación como las habladas anteriormente y por la noche ninguna fuente emisora de luz en el terrario (M. Baines Frances, 2018).

Gran parte de las bombillas mencionadas anteriormente emiten espectro visible, si este es insuficiente podría utilizarse leds como suplemento de iluminación o para favorecer el crecimiento de las plantas, pero nunca como única iluminación del terrario (M. Baines Frances & Cusack Lara M., 2019).

5.1.4. Materiales que interfieren las emisiones

Es muy importante a la hora de elegir el entorno de nuestro reptil, tener en cuenta el material que compone la parte superior del terrario en el caso de que las bombillas vayan a ir sobre este. Los materiales que permiten pasar el aire como es el caso de la malla, dependiendo de la abertura, frenarán en mayor o menor medida el paso de la radiación UVB. Por ejemplo, en un estudio realizado por Burguer y sus compañeros en 2007 se demuestra que la malla mosquitera de aluminio frenará hasta un 30% el paso de la radiación, siendo este porcentaje aún mayor en la malla mosquitera de fibra de vidrio, la malla pajarera comúnmente utilizada para aves de corral al ser de aberturas más amplias frenará solo alrededor de un 10% de la radiación, la desventaja de esta es en animales insectívoros ya que sus presas se podrán escapar entre los orificios. Aun así, estos materiales permeables al aire serán los de elección ya que dejarán pasar entre los agujeros gran parte de la emisión.

Por otra parte, el cristal y el plástico frenarán muchísimo la radiación UVB, sobre todo las longitudes de onda más cortas que son las más importantes en la síntesis de vitamina D por lo que no se podrán usar estos materiales entre la iluminación y el animal (Burger et al., 2007).

En definitiva, hay que tener en cuenta el material que va a haber entre la bombilla y el animal a la hora de elegir la iluminación de nuestro reptil, ya que alterará la emisión de esta, siendo indicado un material permeable al aire. Hay que evitar el uso de vidrios y plásticos ya que van a alterar considerablemente el paso de la UVB, además de la UVA y el calor (Serrano & Moreno, 2020).

5.1.5. Recomendaciones para una correcta iluminación en cautividad

Utilizando las “Zonas UVB” o “Zonas Ferguson”, que clasifican los diferentes tipos de reptiles según sus características de asoleamiento en la naturaleza, y conociendo las características de las fuentes de radiación artificial disponibles en el mercado podemos recrear de forma artificial con mayor precisión los requerimientos de radiación de muchas de las especies de reptiles mantenidas en cautividad. La tabla 3 resume como recrear artificialmente cada una de las zonas Ferguson. Hay que tener en cuenta que, según la marca, la potencia y el tiempo que lleve de uso la bombilla las emisiones de UV variarán. Idealmente, el cuidador de reptiles debe tener un medidor de radiación UV o, en su defecto, consultar con el fabricante sobre la potencia y el tiempo de durabilidad para así poder ofrecer la mejor iluminación a los reptiles.

Tabla 3. Diferentes combinaciones de iluminación para realizar una aproximada imitación de lo que recibirían los diferentes tipos de reptiles en la naturaleza según las zonas Ferguson.

Zona ferguson	Características del reptil	Media de UVI a lo largo del día	Máxima UVI captada	Iluminación acorde a la demanda
Zona 1	Crepusculares, o que viven en la sombra.	0 - 0,7	0,6 - 1,4	Bombilla fluorescente compacta de potencia acorde a la especie + bombilla incandescente (halógeno o tipo spot de calor) + aumentar espectro visible con led (si la luminosidad del ambiente es insuficiente). Siempre con refugio UVI 0 y gradiente de UVI y temperatura. Si es necesario aporte de calor nocturno se puede usar una fuente de infrarrojos sin emisión de luz visible (bombilla cerámica, panel radiante o manta calefactora).
Zona 2	Tomadores de sol ocasionales.	0,7 - 1	1,1 - 3	Bombilla fluorescente compacta de potencia acorde a la especie o tubo T5 de potencia acorde a la especie + bombilla de calor (halógeno o tipo spot de calor) + aumentar espectro visible con led (si la luminosidad del ambiente es insuficiente). Otra opción sería si el terrario es lo suficientemente grande y la distancia es adecuada se podría usar una bombilla de vapor de mercurio o halogenuro metálico de baja potencia + si es necesario apoyo de calor o espectro visible. Siempre con refugio UVI 0 y gradiente de UVI y temperatura. Si es necesario aporte de calor nocturno se puede usar una fuente de infrarrojos sin emisión de luz visible (bombilla cerámica, panel radiante o manta calefactora).
Zona 3	Tomadores de sol directo o parcial.	1 - 2,6	2,9 - 7,4	Bombilla vapor de mercurio o halogenuro metálico con una potencia acorde al terrario y especie + si es necesario apoyo de calor o espectro visible. Otra opción sería un tubo T5 de potencia acorde a la especie + bombilla de calor (halógeno o tipo spot de calor) + aumentar espectro visible si es necesario. Siempre con refugio UVI 0 y gradiente de UVI y temperatura. Si es necesario aporte de calor nocturno se puede usar una fuente de infrarrojos sin emisión de luz visible (bombilla cerámica, panel radiante o manta calefactora).
Zona 4	Tomadores de sol directo	2,6 - 3,5	4,5 - 9,5	Bombilla vapor de mercurio o halogenuro metálico con una potencia acorde al terrario y especie + si es necesario apoyo de calor o espectro visible. Otra opción sería un tubo T5 de potencia acorde a la especie + bombilla de calor (halógeno o tipo spot de calor) + aumentar espectro visible si es necesario. Siempre con refugio UVI 0 y gradiente de UVI y temperatura. Si es necesario aporte de calor nocturno se puede usar una fuente de infrarrojos sin emisión de luz visible (bombilla cerámica, panel radiante o manta calefactora).

5.1.6. Patologías más comunes por una incorrecta iluminación

Como hemos visto hasta ahora, una correcta iluminación es de suma importancia para la salud de los reptiles permitiéndoles adquirir correctamente la vitamina D entre muchas otras funciones, es esencial para multitud de procesos fisiológicos, por eso vamos a revisar algunas de las patologías que encontramos con más frecuencia en las clínicas veterinarias en el caso de no proporcionar una correcta iluminación a este tipo de animales.

5.1.6.1. Hipovitaminosis D.

Esta es una de las principales patologías encontradas en la clínica de reptiles por falta de radiación UVB, una buena anamnesis para conocer el manejo e instalaciones que ha recibido ese animal serán de vital importancia para el diagnóstico (DiGeronimo & Brandão, 2019).

Es importante para los veterinarios saber cuáles son los signos clínicos asociados a hipovitaminosis D para poder diagnosticar y tratar estos casos (Watson & Mitchell, 2014).

Puede ser causada por múltiples factores, uno de los más comunes es por una incorrecta iluminación, los signos clínicos que veremos pueden ser una mala postura, deformidades de los distintos huesos, debilidad muscular, temblores musculares, cojera, un mal crecimiento, fracturas y mineralización de tejidos blandos entre otras. Incluso se ha visto que, si hay deficiencia de radiación UVB y especialmente si la vitamina D y el calcio son pobres en la dieta, puede haber fallos en la eclosión de los huevos de algunas especies (Adkins Elizabeth et al., 2003). Un estudio reciente en camaleón pantera (*Furcifer pardalis*) demuestra que las hembras expuestas a una radiación UVB inferior a la que recibirían en la naturaleza produjeron menos cantidad de huevos, con menor vitamina en este y un porcentaje de eclosión inferior a otros dos grupos de hembras que recibieron mayor radiación (Ferguson et al., 2021). La vitamina D en sangre puede mantenerse estable unos días después de retirar la radiación UVB y retirarla de la dieta (D. G. A. B. Oonincx et al., 2013)

Por otro lado, existe la hipervitaminosis D, pero de esto no nos debemos preocupar en cuanto a la iluminación se refiere, ya que los informes de hipervitaminosis D son todos asociados a una dieta excesiva en vitamina D y ninguno asociado directamente al exceso de UVB, si habrá que tenerlo en cuenta a la hora de administrar suplementos vitamínicos a este tipo de mascotas (Watson & Mitchell, 2014).

5.1.6.2. Enfermedad metabólica ósea asociada a la iluminación

La enfermedad metabólica ósea (EMO) es un conjunto de enfermedades que incluye raquitismo, osteoporosis e hiperparatiroidismo secundario (Diehl et al., 2018), se caracteriza por cambios funcionales y de morfología de los huesos por un desequilibrio entre el calcio y el fósforo, deficiencia de vitamina A y D en dieta o por falta de radiación UVB sobre la piel (Haxhiu et al., 2014; Hoby et al., 2010).

La EMO que afecta a los reptiles suele ser resultado de una deficiencia dietética de calcio durante un largo periodo de tiempo o por una proporción negativa de calcio/fósforo (Ca:P) en la dieta (Zotti et al., 2004), y como ya sabemos la radiación UVB es necesaria en la mayoría de los animales diurnos para la síntesis de vitamina D, por eso para prevenir esta enfermedad es recomendable administrar iluminación UVB (Cusack et al., 2017). Al ocurrir este desequilibrio del Ca y P, aumentaran los niveles de hormona paratiroidea la cual desencadenará la eliminación de Ca de los huesos para compensar este déficit. El hueso se debilita, llegando a fracturarse y producirse un refuerzo fibroso (figura 17). La radiografía es la opción más utilizada para evaluar esta desmineralización ósea y ver fracturas. En la radiografía de EMO podremos ver inflamación de tejidos blandos, disminución de la opacidad ósea y adelgazamiento de la corteza de los huesos (Zotti et al., 2004).



Figura 17. Iguana verde (*Iguana iguana*) con enfermedad metabólica ósea y retención de muda por unas malas condiciones de mantenimiento. Se pueden observar las deformaciones óseas (foto cedida por la clínica veterinaria Tot Exotic, Valencia).

5.1.6.3. Patologías por exceso de radiación UV

No todos los problemas ocasionados a raíz de una incorrecta iluminación son por déficit de esta, un exceso de radiación UV también será perjudicial para el animal, hay que intentar encontrar un equilibrio.

La morbilidad y mortalidad fototóxicas en los reptiles que se mantienen como mascota está poco estudiada. Una exposición excesiva a la radiación UV o rayos de onda corta artificiales pueden causar problemas de quemaduras, daño tisular, anorexia, reducción de la actividad, daño ocular, tumores de piel, insuficiencias reproductivas o incluso la muerte (Gardiner et al., 2009). Los ojos están expuestos al igual que la piel, lo cual ha demostrado que se pueden producir enfermedades oculares, produciendo efectos negativos sobre la córnea alterando el grosor de esta y pudiendo llegar a causar queratitis y edema corneal (Watson & Mitchell, 2014).

5.1.6.4. Quemaduras

Muchas de las bombillas de espectro completo y productos calefactores emiten gran cantidad de calor, por lo que las quemaduras son otro aspecto para tener en cuenta a la hora de crear un buen punto de asoleamiento para el animal (figura 18). Es muy típico en los reptiles mantenidos en cautividad ya que se pueden llegar a crear áreas de calor elevadas si no son bien reguladas y producir lesiones que irán desde eritema hasta necrosis del espesor completo de la piel, además estas lesiones dan paso a infecciones secundarias oportunistas de bacterias y hongos (Gartrell et al., 2020).



Figura 18. Quemadura de casco de un camaleón calyptratus (*Chamaeleo calyptratus*) por tener un terrario incorrecto además de una bombilla de vapor de mercurio demasiado cerca del punto de asoleamiento.

6. CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente Trabajo de Fin de Grado son:

1. Los reptiles en cautividad necesitan diversas radiaciones electromagnéticas para satisfacer sus requerimientos fisiológicos. Éstas son: radiación infrarroja (IR-A), espectro visible y radiación ultravioleta (UV), tanto la UVA como UVB.
2. No existe una única fuente comercial que cubra todos sus requerimientos. A la hora de crear la zona de asoleamiento artificial será necesario combinar diferentes fuentes de radiación comerciales en base a las "Zonas Ferguson", ya que clasifican a los reptiles según sus requerimientos de radiación ultravioleta.
3. Se ha creado una tabla-guía (tabla 3) para ayudar en el diseño de las instalaciones de reptiles.
4. Existen materiales, vidrio o plástico, que se deben evitar entre la bombilla y el animal ya que pueden interferir drásticamente con la emisión de radiación UV.
5. Una incorrecta exposición a la radiaciones electromagnéticas puede llevar al desarrollo de patologías en los animales como son la hipovitaminosis D, la enfermedad metabólica ósea asociada a la iluminación, queratitis y quemaduras dérmicas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acierno, M. J., Mitchell, M. A., Zachariah, T. T., Roundtree, M. K., Kirchgessner, M. S., Sanchez-Migallon Guzman, D., & en Vit, L. (2008). Effects of ultraviolet radiation on plasma 25-hydroxyvitamin D 3 concentrations in corn snakes (*Elaphe guttata*). *American Journal of Veterinary Research*, 69(2).
- Adkins Elizabeth, Driggers Todd, Ferguson Gary, Gehrmann William, Gyimesi Zoltan, Mayo Elizabeth, Ogle Miguel, & Owens Tommy. (2003). Ultraviolet Light and Reptiles, Amphibians. *Journal of Herpetological Medicine and Surgery* , 13, 27–37.
- Azevedo, A., Guimarães, L., Ferraz, J., Whiting, M., & Magalhães-sant'ana, M. (2021). Pet reptiles—Are we meeting their needs? *Animals*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/ani11102964>
- Baines, F., Chattell, J., Dale, J., Garrick, D., Gill, I., Goetz, M., Skelton, T., & Swatman, M. (2016). How much UV-B does my reptile need? The UV-Tool, a guide to the selection of UV lighting for reptiles and amphibians in captivity. *Journal of Zoo and Aquarium Research*, 4(1), 2016.
- Barroso, F. M., Carretero, M. A., Silva, F., & Sannolo, M. (2016). Assessing the reliability of thermography to infer internal body temperatures of lizards. *Journal of Thermal Biology*, 62, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.10.004>
- Bos, J. H., Klip, F. C., & Oonincx, D. G. A. B. (2018). Artificial ultraviolet b radiation raises plasma 25-hydroxyvitamin D3 concentrations in Burmese pythons (*python bivittatus*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 49(3), 810–812. <https://doi.org/10.1638/2017-0243.1>
- Burger, R. M., Gehrmann, W. H., & Ferguson, G. W. (2007). Evaluation of UVB reduction by materials commonly used in reptile husbandry. *Zoo Biology*, 26(5), 417–423. <https://doi.org/10.1002/zoo.20148>
- Carman, E. N., Ferguson, G. W., Gehrmann, W. H., Chen, T. C., & Holick, M. F. (2000). Photobiosynthetic opportunity and ability for UV-B generated vitamin D synthesis in free-living house geckos (*Hemidactylus turcicus*) and Texas spiny lizards (*Sceloporus olivaceus*). *Copeia*, 1, 245–250. [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2000\)2000\[0245:POAAFU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2000)2000[0245:POAAFU]2.0.CO;2)

- Chitty, J. (2011). Hospitalization of Birds and Reptiles. In *Journal of Exotic Pet Medicine* (Vol. 20, Issue 2, pp. 98–106). <https://doi.org/10.1053/j.jepm.2011.02.004>
- Cusack, L., Rivera, S., Lock, B., Benboe, D., Brothers, D., & Divers, S. (2017). Effects of a light-emitting diode on the production of cholecalciferol and associated blood parameters in the bearded dragon (*Pogona vitticeps*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 48(4), 1120–1126. <https://doi.org/10.1638/2016-0222.1>
- Diehl, J. J. E., Baines, F. M., Heijboer, A. C., van Leeuwen, J. P., Kik, M., Hendriks, W. H., & Oonincx, D. G. A. B. (2018). A comparison of UVb compact lamps in enabling cutaneous vitamin D synthesis in growing bearded dragons. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(1), 308–316. <https://doi.org/10.1111/jpn.12728>
- DiGeronimo, P. M., & Brandão, J. (2019). Orthopedics in Reptiles and Amphibians. In *Veterinary Clinics of North America - Exotic Animal Practice* (Vol. 22, Issue 2, pp. 285–300). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2019.01.009>
- Edmonds, D., Razaiarimahefa, T., Kessler, E., & Goetz, M. (2018). Natural exposure to ultraviolet-B radiation in two species of chameleons from Madagascar. *Zoo Biology*, 37(6), 452–457. <https://doi.org/10.1002/zoo.21459>
- Ferguson, G. W., Brinker, A. M., Gehrmann, W. H., Bucklin, S. E., Baines, F. M., & Mackin, S. J. (2010). Voluntary exposure of some Western-Hemisphere snake and lizard species to ultraviolet-B radiation in the field: How much ultraviolet-B should a lizard or snake receive in captivity? *Zoo Biology*, 29(3), 317–334. <https://doi.org/10.1002/zoo.20255>
- Ferguson, G. W., Gehrmann, W. H., Karsten, K. B., Hammack, S. H., Mcrae, M., Chen, T. C., Lung, N. P., & Holick, M. F. (2003). Do Panther Chameleons Bask to Regulate Endogenous Vitamin D 3 Production? Introduction and Background. In *Physiological and Biochemical Zoology* (Vol. 76, Issue 1).
- Ferguson, G. W., Gehrmann, W. H., Vaughan, M. S., Kroh, G. C., Chase, D., Slaets, K., & Holick, M. F. (2021). Is the natural UV zone important for successful captive propagation of the Panther Chameleon (*Furcifer pardalis*); are different UVB irradiance exposures that generate a similar dose equally successful? *Zoo Biology*, 40(2), 150–159. <https://doi.org/10.1002/zoo.21591>

- Gardiner, D. W., Baines, F. M., & Pandher, K. (2009). Photodermatitis and photokeratoconjunctivitis in a ball python (*Python regius*) and a blue-tongue skink (*Tiliqua* spp.). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, *40*(4), 757–766. <https://doi.org/10.1638/2009-0007.1>
- Gartrell, B. D., Ahn, J. Y., Khude, R., Dougherty, N., Johnson, K., McCutchan, J., Clarke, A., & Hunter, S. (2020). Thermal burns of the spectacle associated with supplementary heating in native New Zealand geckos. *New Zealand Veterinary Journal*, *68*(2), 126–133. <https://doi.org/10.1080/00480169.2019.1674747>
- Gould, A., Molitor, L., Rockwell, K., Watson, M., & Mitchell, M. A. (2018). Evaluating the Physiologic Effects of Short Duration Ultraviolet B Radiation Exposure in Leopard Geckos (*Eublepharis macularius*). *Journal of Herpetological Medicine and Surgery*, *28*(1), 34. <https://doi.org/10.5818/17-11-136.1>
- Grant, R. A., Montrose, V. T., & Wills, A. P. (2017). ExNOTic: Should we be keeping exotic pets? *Animals*, *7*(6). <https://doi.org/10.3390/ani7060047>
- Haxhiu, D., Hoby, S., Wenker, C., Boos, A., Kowalewski, M. P., Lewis, F., & Liesegang, A. (2014). Influence of feeding and UVB exposition on the absorption mechanisms of calcium in the gastrointestinal tract of veiled chameleons (*Chamaeleo calyptratus*). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, *98*(6), 1021–1030. <https://doi.org/10.1111/jpn.12206>
- Hetényi, N., Lang, Z., Sátorhelyi, T., & Hullár, I. (2020). Effects of different vitamin d sources on blood biochemistry of bearded dragons (*Pogona* spp.) and hermann's tortoises (*testudo hermanni*). *Berliner Und Munchener Tierarztliche Wochenschrift*, *133*(3–4), 149–158. <https://doi.org/10.2376/0005-9366-19024>
- Hoby, S., Wenker, C., Robert, N., Jermann, T., Hartnack, S., Segner, H., Aebischer, C. P., & Liesegang, A. (2010). Nutritional metabolic bone disease in juvenile veiled chameleons (*Chamaeleo calyptratus*) and its prevention. *Journal of Nutrition*, *140*(11), 1923–1931. <https://doi.org/10.3945/jn.110.120998>
- Holick, M. F. (2004). Vitamin D: importance in the prevention of cancers, type 1 diabetes, heart disease, and osteoporosis. In *Am J Clin Nutr* (Vol. 79). <https://academic.oup.com/ajcn/article-abstract/79/3/362/4690120>

- Karsten, K. B., Ferguson, G. W., Chen, T., & Holick, M. F. (2009). Panther chameleons, *furcifer pardalis*, behaviorally regulate optimal exposure to UV depending on dietary vitamin D status. *Physiological and Biochemical Zoology*, 82(3), 218–225. <https://doi.org/10.1086/597525>
- M. Baines Frances. (2018). Lighting. In Doneley Bob, Monks Deborah, Johnson Robert, & Carmel Brendan (Eds.), *Reptile Medicine and Surgery in Clinical Practice* (First Edition, pp. 75–89). 2018.
- M. Baines Frances, & Cusack Lara M. (2019). Environmental Lighting. In J. DIVERS STEPHEN & J. STAHL SCOTT (Eds.), *Mader's REPTILE AND AMPHIBIAN Medicine and Surgery* (3rd ed., pp. 131–138).
- Michaels, C. J., Antwis, R. E., & Preziosi, R. F. (2015). Impacts of UVB provision and dietary calcium content on serum vitamin D3, growth rates, skeletal structure and coloration in captive oriental fire-bellied toads (*Bombina orientalis*). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 99(2), 391–403. <https://doi.org/10.1111/jpn.12203>
- Oonincx, D. G. A. B., Diehl, J. J. E., Kik, M., Baines, F. M., Heijboer, A. C., Hendriks, W. H., & Bosch, G. (2020). The nocturnal leopard gecko (*Eublepharis macularius*) uses UVb radiation for vitamin D3 synthesis. *Comparative Biochemistry and Physiology Part - B: Biochemistry and Molecular Biology*, 250. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2020.110506>
- Oonincx, D. G. A. B., Stevens, Y., van den Borne, J. J. G. C., van Leeuwen, J. P. T. M., & Hendriks, W. H. (2010). Effects of vitamin D3 supplementation and UVb exposure on the growth and plasma concentration of vitamin D3 metabolites in juvenile bearded dragons (*Pogona vitticeps*). *Biochemistry and Molecular Biology*, 156(2), 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2010.02.008>
- Oonincx, D. G. A. B., van de Wal, M. D., Bosch, G., Stumpel, J. B. G., Heijboer, A. C., van Leeuwen, J. P. T. M., Hendriks, W. H., & Kik, M. (2013). Blood vitamin D3 metabolite concentrations of adult female bearded dragons (*Pogona vitticeps*) remain stable after ceasing UVb exposure. *Comparative Biochemistry and Physiology - B Biochemistry and Molecular Biology*, 165(3), 196–200. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2013.04.006>

- Oonincx, D., & van Leeuwen, J. (2017). Evidence-Based Reptile Housing and Nutrition. In *Veterinary Clinics of North America - Exotic Animal Practice* (Vol. 20, Issue 3, pp. 885–898). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2017.04.004>
- Rehfuess, Eva. (2002). *Global solar UV index : a practical guide*. World Health Organization.
- Schmidt, D. A., Mulkerin, D., Boehm, D. R., Ellersieck, M. R., Lu, Z., Campbell, M., Chen, T. C., & Holick, M. F. (2010). Quantifying the vitamin D3 synthesizing potential of UVB lamps at specific distances over time. *Zoo Biology*, 29(6), 741–752. <https://doi.org/10.1002/zoo.20345>
- Selleri Paolo, & di Girolamo Nicola. (2012). Plasma 25-hydroxyvitamin D3 concentrations in Hermann's tortoises (*Testudo hermanni*) exposed to natural sunlight and two artificial ultraviolet radiation sources. *American Journal of Veterinary Research*, 3(11), 1781–1786.
- Serrano, M. A., & Moreno, J. C. (2020). Spectral transmission of solar radiation by plastic and glass materials. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111894>
- Thomas, O., Kane, D., & Michaels, C. J. (2019). Effects of different heat sources on the behaviour of blue tree monitors (*Varanus macraei*) in captivity. *Herpetological Bulletin*, 149, 41–43. <https://doi.org/10.33256/hb149.4143>
- Watson, M. K., & Mitchell, M. A. (2014). Vitamin D and Ultraviolet B Radiation Considerations for Exotic Pets. *Journal of Exotic Pet Medicine*, 23(4), 369–379. <https://doi.org/10.1053/j.jepm.2014.08.002>
- Whittaker, A. L., Golder-Dewar, B., Triggs, J. L., Sherwen, S. L., & McLelland, D. J. (2021). Identification of animal-based welfare indicators in captive reptiles: A delphi consultation survey. *Animals*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/ani11072010>
- Wilkinson, S. L. (2015). Reptile wellness management. In *Veterinary Clinics of North America - Exotic Animal Practice* (Vol. 18, Issue 2, pp. 281–304). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2015.01.001>
- Zotti, A., Selleri, P., Carnier, P., Morgante, M., & Bernardini, D. (2004). Relationship between metabolic bone disease and bone mineral density measured by dual-energy X-ray

absorptiometry in the green iguana (*Iguana iguana*). *Veterinary Radiology and Ultrasound*, 45(1), 10–16. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2004.04002.x>