



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de

Autor/es

Director/es

Facultad de Veterinaria

Índice

Contenido

1. Resumen.....	3
2. Abstract	3
3. Introducción	5
3.1 Taxonomía	5
3.2 Distribución geográfica	5
3.3 Hábitat.....	5
3.4 Estilo de vida y alimentación.....	6
3.5 Reproducción	7
3.6 Tamaño de la población y existencia de subpoblaciones.	7
3.7 International Union for Conservation of Nature (IUCN)	9
3.8 Amenazas	10
3.8.1 Enfermedad de los Tumores Faciales del Demonio de Tasmania.....	10
3.8.2 Atropellamiento	11
3.8.3 Persecuciones por perros	11
3.8.4 Zorros Rojos	12
3.8.5 Persecución	12
3.8.6 Baja diversidad genética	12
3.9 Estrategia de conservación actual.....	13
3.9.1 Establecimiento de Poblaciones Seguras	13
3.9.2 Eliminación de la enfermedad	14
3.9.3 Selección de individuos resistentes a DFTD.....	14
3.9.4 Investigación de vacunas y tratamientos	15
3.10 Vortex 10 “A stochastic simulation of the extinction process”	15
4. Justificación	16
5. Material y métodos	16
5.1 Parámetros aplicados en las simulaciones del programa Vortex	17
5.2 Simulación 1.	18
5.3 Simulación 2	19
5.4 Simulación 3	19
5.5 Simulación 4	19
5.5.1 Simulación 4.1.....	19
5.5.2 Simulación 4.2.....	19
5.5.3 Simulación 4.3.....	20

5.5.4 Simulación 4.4	20
5.6 Simulación 5	20
6. Resultados y discusión	20
6.1 Resultados	20
6.1.1 Simulación 1	21
6.1.2 Simulación 2	21
6.1.3 Simulación 3	22
6.1.4 Simulación 4.1	23
6.1.5 Simulación 4.2	23
6.1.6 Simulación 4.3	24
6.1.7 Simulación 4.4	25
6.1.8 Simulación 5	25
6.1.9 Tabla de resultados	26
6.2 Discusión	27
7. Conclusiones.....	30
8. Conclusions	30
9. Valoración personal.....	31
10. Bibliografía	31

1. Resumen

El demonio de Tasmania (*Sarcophilus harrisii*) es un mamífero terrestre que actualmente solo está presente en la isla de Tasmania. Se puede encontrar a lo largo de toda la extensión de Tasmania salvo en las zonas de mayor altura como los picos de las montañas. En 1996 se describió por primera vez la Enfermedad del Tumor Facial del Demonio de Tasmania (DFTD por las siglas en inglés de Devil Facial Tumour Disease), que es un proceso contagioso que provoca la aparición de tumores por toda la cara que acaban impidiendo la toma de alimentos y por lo tanto causando la muerte del animal. Al contagiarse por contacto directo (principalmente por mordiscos) se extendió rápidamente debido a las costumbres de la especie durante la cópula: por este motivo los reproductores enfermaban y morían, lo que se tradujo en un gran descenso en el tamaño de la meta-población y provocó que la especie acabara entrando en la lista roja de la International Union for the Conservation of Nature (IUCN).

En el presente Trabajo de Fin de Grado se lleva a cabo un conjunto de simulaciones con el programa de análisis de viabilidad de poblaciones (PVA) Vortex para así comprobar cómo se verían afectadas las poblaciones del demonio de Tasmania ante distintos escenarios, tales como la desaparición de la enfermedad, la translocación de individuos sanos de poblaciones libres de la enfermedad a las poblaciones afectadas o el efecto que podría tener la degradación del hábitat.

Como conclusión, los resultados de las simulaciones indican que la especie tiene muy buena capacidad de recuperarse y alcanzar poblaciones al nivel de la capacidad de carga del hábitat siempre y cuando se erradique la DFTD. También nos muestran que la especie se ve poco afectada por la degradación del medio dentro de unos valores de degradación limitados y que la translocación de individuos sanos a las poblaciones afectadas no es útil ya que no impide la extinción por lo que debería de realizarse tras la erradicación de la enfermedad, ya sea por la curación de la misma o por la extinción de las poblaciones afectadas.

2. Abstract

Tasmanian devils (*Sarcophilus harrisii*) are terrestrial mammals that are only present in Tasmania island nowadays. They can be found all way through Tasmania except for the higher

grounds like mountain peaks. In 1996 the Devil Facial Tumour Disease (DFTD) was first described. DFTD is a contagious disease that triggers the emergence of tumours all over the face which make the individuals starve to death. Because it is transmitted by direct contact, mainly by bites, the disease quickly spreaded due to their characteristic copulation behaviour, making adult devils die. This induced a high decline in population making the species joining the International Union for the Conservation of Nature (IUCN) red list.

For these reasons a series of simulations using a population viability análisis (PVA) software named Vortex were performed to test how the Tasmanian devils' population should be affected by different settings, such as DFTD eradication, translocation of healthy individuals from a DFTD free population to the current populations or the effect of habitat degradation.

In conclusion, the simulation's results show that Tasmanian devils have a high potential of reaching the environment carrying capacity for this species if DFTD is eradicated. Also it can be seen from the simulation results that habitat deterioration of Tasmania Island does not affect too much Tasmanian devils, and it seems that healthy individuals translocation from DFTD free populations to the currently populations is useless because it does not avoid the species extinction; in order to make it useful DFTD eradication is needed, either by finding a cure or letting the current population go extinct and save a insurance population from where a successful translocation to the mainland territory could be performed.

3. Introducción

3.1 Taxonomía

Ilustración 1. Taxonomía del demonio de Tasmania (Sarcophilus harrisii).

Super-reino	<i>Eukaryota</i>
Reino	<i>Animalia</i>
Subreino	<i>Eumetazoa</i>
Filo	<i>Chordata</i>
Subfilo	<i>Vertebrata</i>
Clase	<i>Mammalia</i>
Infraclase	<i>Marsupialia</i>
Orden	<i>Dasyuromorphia</i>
Familia	<i>Dasyuridae</i>
Género	<i>Sarcophilus</i>
Especie	<i>Sarcophilus harrisii</i>

3.2 Distribución geográfica

El Demonio de Tasmania se puede encontrar en la Isla de Tasmania, Australia, cuya extensión es de 64,030 km². Hace alrededor de 450 años la especie desapareció de Australia continental (Archer and Baynes 1992), posiblemente por competición con dingos (Guiler 1982) y con los aborígenes de la zona (Johnson and Wroe 2003). Aunque estaban presentes en otras islas australianas tales como Badger Island, Bruny Island y Robbins Island no hay datos que confirmen su presencia desde 1900 (International Union for Conservation of Nature {IUCN}, 2008) quedando solo constancia de su presencia en la isla de Tasmania.

3.3 Hábitat

Los Demonios de Tasmania se encuentran a lo largo de toda la isla de Tasmania, en todos los hábitats terrestres, incluyendo plantaciones forestales y campos de pasto, desde el nivel del mar a las diferentes alturas, salvo los picos de las montañas de la isla (Jones and Barmuta 2000). Se encuentran menores densidades en las planicies de “buttongrass”, que es un tipo de vegetación con forma de botón que es característica de la zona sudoeste de Tasmania; y mayores densidades en los bosques de eucaliptos y en la costa del noroeste de Tasmania.

Generalmente prefieren bosques abiertos y evitan los muy densos (Jones and Barmuta 2000). Suelen viajar por tierras bajas, montes y arroyos, evitando pendientes pronunciadas y zonas rocosas y acuden normalmente a zonas con importantes fuentes de alimentación tales como granjas, carreteras y puntos donde se abandonen cadáveres y basura. Si hay alimento y madrigueras suficientes pueden alcanzar grandes densidades de población aun en hábitats desfavorables. (Jones and Barmuta 2000, Pukk 2005)

Los demonios de Tasmania viven en madrigueras subterráneas, vegetaciones densas y cuevas. Los adultos son muy fieles con sus madrigueras por lo que cualquier modificación de las mismas puede afectar a la población de la zona. En los asentamientos humanos suelen encontrarse bajo edificios, estén habitados o no (Owen and Pemberton 2005).

Ilustración 2. Madriguera habitada por un demonio de Tasmania. Tomada de d.ibtimes.co.uk (último acceso el día 2/11/2021)



3.4 Estilo de vida y alimentación

Su estilo de vida es principalmente solitario con una esperanza de vida de entre cinco y seis años que pasan sobre todo en sus madrigueras, aunque se juntan en grupos a la hora de alimentarse y reproducirse (Guiler 1978; Jones 2004). Son buenos cazadores nocturnos basando su estrategia de caza en emboscadas y persecuciones cortas de distancia media (Jones 1998; Owen and Pemberton 2005); pero suelen preferir la carroña ya que debido a sus poderosos mordiscos son capaces de romper los huesos y alimentarse del tuétano al que otros carroñeros no tienen forma de acceder. Se comunican entre ellos con chillidos horripilantes y

gruñidos feroces que, junto a su agresividad, les hicieron ganar el nombre de demonios de Tasmania (Owen and Pemberton 2005).

3.5 Reproducción

El demonio de Tasmania es poliginándrico, es decir, un grupo de machos concretos se aparean con un grupo de hembras concreto, teniendo así cada uno varias parejas. Su temporada de reproducción se extiende desde febrero-marzo hasta junio y la duración de la gestación es de 21 días por lo que suelen parir en abril, naciendo entre dos o tres crías por parto (Hesterman et al. 2008). Al nacimiento son altriciales por lo que viven en la bolsa marsupial de la madre, que permanece en su madriguera sin apenas salir durante los primeros cuatro meses (Pemberton 1990); a partir de esa edad empiezan a salir de la bolsa, aunque siguen lactando hasta los cinco o seis meses de edad, momento en el que se produce el destete. Aun ya destetados no son independientes hasta que alcanzan los ocho meses de edad, cuando buscan o crean su propia madriguera para vivir ya de forma solitaria salvo para alimentarse. A los dos años alcanzan la madurez sexual a partir de la cual ya pueden reproducirse y por tanto unirse a los grupos de reproducción que se forman en la época reproductiva (Guiler 1970; Guiler 1982; Pemberton 1990).

El incremento del contacto entre individuos durante la época de apareamiento tiene como resultado un aumento de las lesiones debido a que durante la cópula se producen agresiones entre los mismos.

3.6 Tamaño de la población y existencia de subpoblaciones.

En 1990 se calculó que la población de demonios de Tasmania era de entre 130.000 y 150.000 individuos (Jones et al. 2014); pero en el año 2007 se estimó que solo quedaban entre 10.000 y 25.000 individuos por múltiples causas tales como la caza (los agricultores los consideran una plaga) o los atropellos en carretera. Sin embargo, el mayor impacto sobre la población lo ha causado la aparición de la enfermedad de tumor facial del demonio de Tasmania (DFTD por sus siglas en inglés) (Hawkins et al. 2006; McCallum et al. 2007) que es una enfermedad transmisible y letal que se transmite por contacto directo (Hamede et al. 2013). Esta disminución de la población ha sido más grave en zonas donde se reportó antes la enfermedad, como el noreste de Tasmania donde la población disminuyó en un 89% desde 1997 hasta 2007 (McCallum et al. 2007).

Aunque los Demonios de Tasmania aparentan tener una distribución continua por todo el territorio de Tasmania, se han identificado varias poblaciones separadas, siendo la población presente en la zona noroeste genéticamente diferente a la que se encuentra en el resto del territorio (Jones et al. 2004; Farmer 2006).

La tendencia al descenso de la población general que ya se había verificado en 2007 (McCallum et al. 2007; Hawkins et al. 2006) se ha agravado con posterioridad. En 2014 se realizó un estudio en el que se estimó que la meta-población tenía alrededor de 1100 individuos mayores de dos años, divididos entre cuatro poblaciones (Brüniche-Olsen et al. 2014):

Población del noroeste. Se encuentra en una región del noroeste de Tasmania que tiene una extensión de 13,400m² situándose al oeste del río Forth. Tiene una población estimada de 308 individuos siendo en el pasado una zona con una población de alrededor de 1412 individuos.

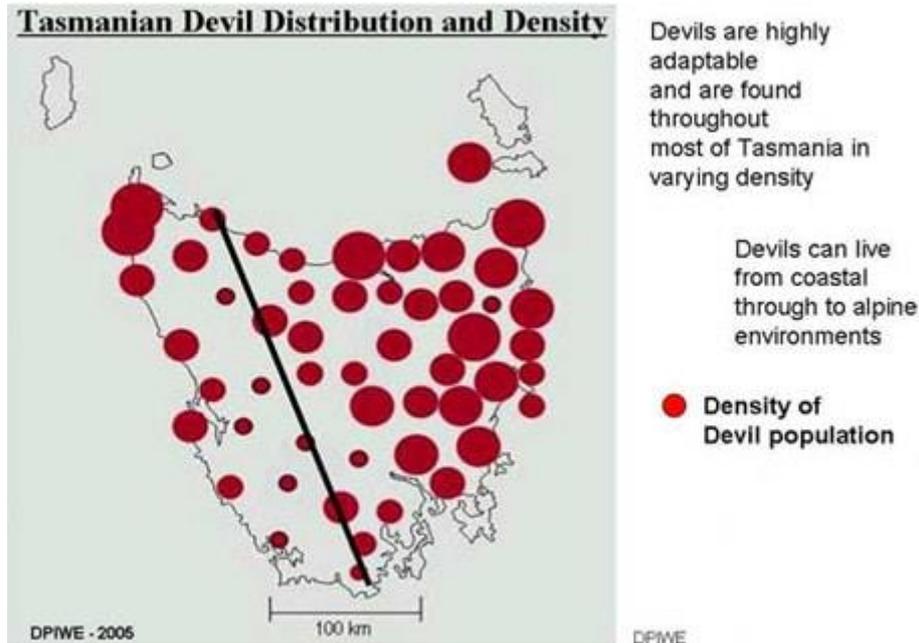
Población de la costa oeste Se encuentra al sur de la localidad de Macquarie Heads (Farmer 2006). Su tamaño de población estimada es de 414 y su histórico fue de 971 individuos.

Población de la meseta central. Abarca el centro de la isla de Tasmania. Siendo su población estimada de 205 individuos y en el pasado alcanzando los 1912.

Población de la costa este. Su ubicación es a lo largo de la costa este de la isla de Tasmania. Su población estimada es de 195 individuos y anteriormente había alcanzado los 2023 individuos.

Como se puede observar las poblaciones de la meseta central y la de la costa este han sufrido un mayor descenso de su población, como ya se ha indicado, probablemente porque fueron las primeras zonas en las que se reportó la DFTD (McCallum et al. 2007).

Ilustración 3. Distribución y densidad del demonio de Tasmania. La línea negra separa las zonas oeste, de menor densidad de la zona este de mayor densidad, siendo los círculos rojos los indicadores de la densidad en cada zona.. Tomada de devilsatcradle.com (último acceso el día 2/11/2021).



3.7 International Union for Conservation of Nature (IUCN)

La IUCN es una organización que fue fundada en 1948 compuesta tanto por organizaciones gubernamentales como por organizaciones civiles.

Es la principal autoridad con respecto al estatus global de la naturaleza y también sobre las medidas que se deben adoptar para salvaguardarla.

En 1964 se creó la IUCN's Red List (Lista Roja de la IUCN) que desde entonces se ha convertido en la fuente de información más extensa y fiable sobre el riesgo de extinción de animales, hongos y plantas a nivel global; de hecho, es un indicador crítico del bienestar de la biodiversidad mundial, que se utiliza como una herramienta para informar y fomentar acciones de ayuda para su conservación. A través de ella se puede obtener gran cantidad de información sobre tamaño de las poblaciones, hábitat, amenazas a las especies y medidas que se están realizando para así ayudar en la toma de las decisiones que sean necesarias.

Las especies evaluadas por la IUCN se incluyen en distintas categorías que son: Least concern (LC), para especies que no están en peligro; Near threatened (NT), para especies que podrían estar en peligro de extinción en el futuro próximo; Vulnerable (VU) si cumple uno de los cinco criterios de la IUCN para considerar que la especie está en peligro de extinción; Endangered

(EN), para especies con un riesgo muy alto de extinción en la naturaleza; Critically endangered (CR), para especies en una situación particular de extremo riesgo de extinción; Extinct in the wild (EW), para especies que solo tienen supervivientes en cautividad; y Extinct (EX), para especies totalmente extintas ([IUCN Red List of Threatened Species](#)).

Con respecto al Demonio de Tasmania, la IUCN's Red List lo categoriza desde 2008 como una especie en peligro de extinción (EN).

3.8 Amenazas

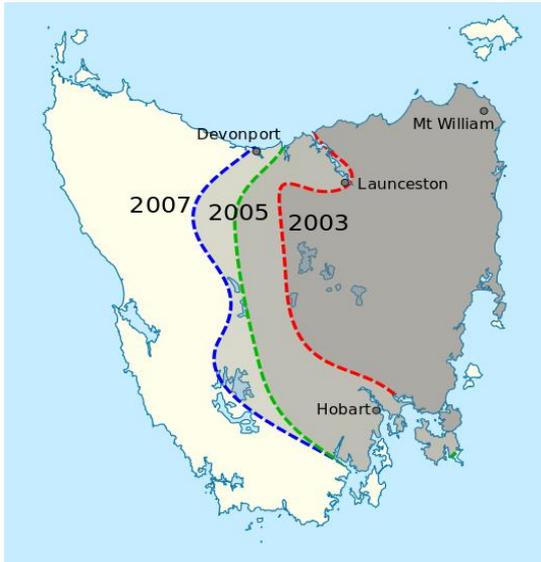
Como ya se ha indicado, la principal amenaza que afecta a esta especie es la Enfermedad de los Tumores Faciales del Demonio de Tasmania (DFTD), existiendo también otras amenazas como los atropellamientos en carreteras, la persecución, las persecuciones por perros, la competición contra el zorro rojo y su escasa variabilidad genética.

3.8.1 Enfermedad de los Tumores Faciales del Demonio de Tasmania.

El mayor impacto sobre la población lo ha causado la aparición de la Enfermedad de los Tumores Faciales del Demonio de Tasmania (DFTD); esta enfermedad se ha asociado con descensos de la población muy elevados, siendo estos de hasta un 89% desde que se informó por primera vez (Hawkins et al. 2006; McCallum et al. 2007; Brüniche-Olsen et al. 2014).

Es una enfermedad transmisible y letal que se transmite por contacto directo, principalmente por mordeduras durante la cópula, ya que durante la misma ocurren agresiones y mordiscos (Pearse, et al. 2005; Hamede et al. 2013). Debido a la naturaleza de la enfermedad se produce una pérdida progresiva de los adultos y posteriormente de los jóvenes adultos, de edad superior a dos años (Lachish et al. 2007). Teniendo en cuenta que la maduración sexual se produce precisamente a los dos años esto deja una población superviviente joven pero incapaz de reproducirse (James et al. 2019). Esta disminución de la población está más avanzada en las zonas en las que primero se detectó la enfermedad, que son las regiones del noreste y este central de Tasmania (Hawkins et al. 2006, McCallum et al. 2007).

Ilustración 4. Representación en un mapa de la isla de Tasmania de la diseminación de la DFTD entre 2003 y 2007. Tomado de McCallum et al., 2008.



Además, en la zona occidental se ha observado una evolución más lenta de la enfermedad y se ha detectado en algunos especímenes anticuerpos frente a DFTD, lo cual abrió una ventana a la esperanza de que algunos individuos sean naturalmente resistentes a la enfermedad (Jones et al. 2004). Al transmitirse fundamentalmente durante la cópula esta enfermedad es capaz de extinguir a la especie ya que la transmisión se produce independientemente de la densidad de la población y por tanto carece de un umbral de densidad poblacional por debajo de la cual la enfermedad se autoextinguiría (McCallum and Jones 2006).

3.8.2 Atropellamiento

Un estudio de 2008 sobre la frecuencia de atropellamientos reveló que se producían hasta 2205 muertes de Demonios de Tasmania anualmente por esta causa (IUCN, 2008). Lo que implicaría que en 2008 entre un 2-3% de la población total moría en atropellamientos en carretera.

Se atribuyó en aquella época al atropellamiento un 50% de las muertes en 17 meses de las que se tiene constancia en el monte Cradle y un 20% en 12 meses en el Parque Nacional de Freycinet. La extinción local y descenso de la población en estas zonas indicaba que los atropellamientos podían llegar a causar la extinción local de la especie (IUCN, 2008). Se consideró que la repercusión de esta amenaza en el futuro se mantendrá estable.

3.8.3 Persecuciones por perros

De acuerdo a datos recogidos en 2008 se observó que se informaban alrededor de 50 casos al año de Demonios de Tasmania muertos por ataques de perros; debido a que no hay incentivos

para que se reporten los casos, se consideraba que en realidad el número de muertes podría ascender a varios cientos por año (IUCN, 2008).

3.8.4 Zorros Rojos

Desde la colonización europea se han ido introduciendo Zorros Rojos (*Vulpes vulpes*) en la isla de Tasmania para caza.

Se cree que la abundancia de Demonios de Tasmania ha evitado el establecimiento del zorro, debido a que la naturaleza agresiva de los Demonios de Tasmania le concedía ventaja a la hora de reclamar madrigueras y territorios de caza, ya que ambas especies comparten preferencias en estos aspectos. También debido a la depredación de las crías de zorro (Jones et al. 2007).

Debido a la gran disminución de población del Demonio de Tasmania se ha producido un incremento de la población de Zorros Rojos; el impacto de este incremento de población se evaluó en 2008 (IUCN, 2008) y no se consideró entonces que pudiera afectar de forma notable la situación del Demonio de Tasmania.

En resumen, los datos de la IUCN en 2008 indicaban que podía haber interacciones entre los censos de ambas especies, tanto por depredación mutua como por competición por los recursos disponibles en el hábitat común.

3.8.5 Persecución

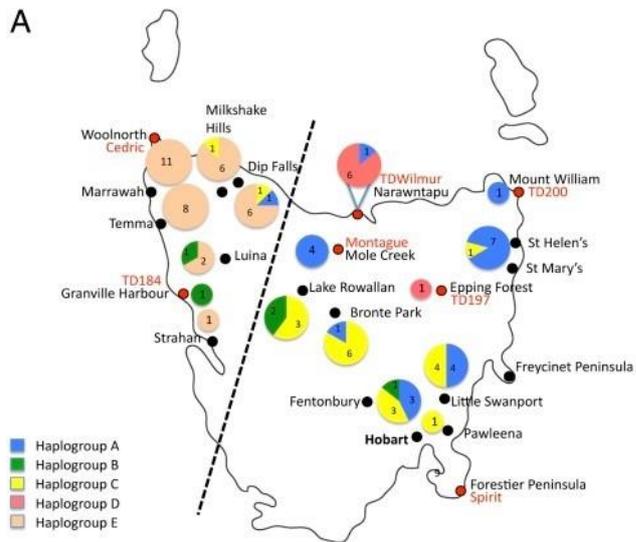
En el periodo 1980-1990 el envenenamiento sistemático estaba muy extendido y se considera que podría haber matado alrededor de 5.000 Demonios de Tasmania al año (IUCN, 2008)

A partir de 1990 se limitó la caza a los lugares donde se pudiera demostrar que esta especie estaba causando daños de importancia.

3.8.6 Baja diversidad genética

Se ha detectado una escasa diversidad genética en la población que puede ser debida a disminuciones marcadas de la población en el pasado y al efecto fundador (Bruniche-Olsen et al. 2018; McLennan et al. 2018). Esto puede reducir tanto la viabilidad de la población como la resistencia a enfermedades, que es un factor especialmente importante debido a la situación actual de la especie por la DFTD (Eldridge et al. 1999; Acevedo-Whitehouse et al. 2005; Brandies, PA et al. 2021).

Ilustración 5. Mapa de la variabilidad genética de las poblaciones de demonio de Tasmania separadas en haplogrupos diferentes designados en base a secuencias mitocondriales. Tomada de Miller et al., 2012)



3.9 Estrategia de conservación actual

Actualmente se está discutiendo y aplicando diferentes estrategias para la conservación de la especie, tales como:

3.9.1 Establecimiento de Poblaciones Seguras

El principal objetivo es establecer una población libre de DFTD en algún lugar aislado de la propia enfermedad, para así evitar la extinción total y además poder utilizar esta población para realizar reintroducciones al hábitat original en el caso de que el Demonio de Tasmania, y por tanto la enfermedad, se extinguieran.

Debido a la escasa diversidad genética de la especie, ya en 2007 se recomendó que se conservara como mínimo un 95% de la diversidad genética existente. Para ello era recomendable que se utilizara una población fundadora base de 150 individuos para con ella llegar a un tamaño efectivo de población de 500 individuos; lo que implicaría mantener una población real de 1.700 individuos en cautividad, o de 5.000 individuos en libertad (Jones et al. 2007).

Lo ideal sería gestionarlo como una meta-población compuesta por múltiples poblaciones tanto en cautividad como de vida libre y realizar migraciones entre ellas para así asegurar la conservación de la diversidad genética. Esto también es importante porque las poblaciones de vida libre mantienen los comportamientos naturales de la especie, así como los organismos comensales (que conforman tanto la flora intestinal, como los parásitos típicos de la especie en vida libre), que se suelen ir perdiendo en la cría en cautividad (Jones et al. 2014).

Las principales opciones de localización de estas poblaciones serían otras islas, hábitats aislados en Australia continental y zonas libres de enfermedad en la isla de Tasmania. Con respecto a esta estrategia habría que tener en cuenta las posibles repercusiones que podría tener la introducción de la especie del Demonio de Tasmania sobre la biodiversidad del lugar elegido y también la viabilidad de la especie en la propia zona elegida.

3.9.2 Eliminación de la enfermedad

Es una medida que tiene menos prioridad que el establecimiento de poblaciones seguras (IUCN, 2008).

Actualmente el único método disponible para controlar o erradicar la enfermedad es la detección y eliminación de los sujetos infectados (McCallum and Jones 2006). Desde enero de 2006 se está llevando a cabo en la península de Foriester, que era un lugar con una prevalencia muy baja donde acababa de llegar, una política de eliminación de la enfermedad. Para ello se procede a la captura sistemática de los animales y si se comprueba que sufren DFTD se produce su eliminación mediante eutanasia. Esta supresión ha conseguido limitar el descenso local de la población; también ha provocado un aumento en la edad media de los individuos capturados y se ha observado que el tamaño de los tumores es ahora más pequeño (Jones et al. 2014). A pesar de estos avances todavía es demasiado pronto para asegurar que la erradicación de la enfermedad es posible.

Ilustración 6. Efectos de la DFTD en un demonio de Tasmania adulto. Tomada de Menna Jones (2006). Jones o Jones et al., 2006



3.9.3 Selección de individuos resistentes a DFTD

Hay una investigación en curso que busca identificar genotipos resistentes en el complejo mayor de histocompatibilidad (MHC) que estén asociados al reconocimiento del tumor. Teóricamente, si se encontraran individuos resistentes a la enfermedad se podría realizar una

selección artificial en poblaciones en cautividad o en vida libre. Sin embargo, las pruebas actuales indican que la escasa variación genética entre individuos en el MHC podría ser la responsable de la posibilidad de transmisión de la enfermedad, al no ser rechazadas por el receptor las células ajenas que le son introducidas (Caldwell A, Siddle HV, 2017). No obstante, también se ha demostrado que algunos demonios de Tasmania han sido capaces por si mismos de desarrollar anticuerpos contra la DFTD (Pye et al., 2016)

3.9.4 Investigación de vacunas y tratamientos

La investigación sobre la vacuna está en curso y los resultados hasta el momento son muy prometedores, pero aún se espera que tarde varios años en completarse. Teniendo en cuenta que gran parte de Tasmania es inaccesible en vehículo, la vacuna ideal debería ser oral a través de cebos para así llegar a suficientes individuos. (Russel, T et al. 2018)

El desarrollo de un tratamiento también está en desarrollo, habiendo buenos resultados al usar interferón-gamma para evitar la transmisión de la enfermedad. (Owen et al. 2019); aunque esta opción puede ser útil para salvar individuos con mucho valor genético en instalaciones preparadas, es una medida inviable sobre el terreno, debido a su alto coste y a la dificultad de su administración. (Jones et al. 2007).

3.10 Vortex 10 “A stochastic simulation of the extinction process”

Vortex (actualización 10.0.7.0) es un programa informático de simulación individual tipo Monte Carlo, que emplea los efectos de las fuerzas deterministas y también los eventos ambientales, genéticos y estocásticos demográficos, para realizar simulaciones virtuales en poblaciones de vida silvestre (Lacy, 1993; Lacy and Pollak, 2020).

Utiliza modelos estocásticos y predictivos para simular los efectos que tienen, sobre la viabilidad de la población en estudio numerosos factores: las catástrofes, la extracción, la suplementación, las tasas demográficas medias, la depresión endogámica y la estructura de la meta-población, en otras palabras, permite realizar un Análisis de Viabilidad de Poblaciones (PVA) para determinar la probabilidad de la extinción de la especie bajo diferentes circunstancias variables (Lacy, 2000).

Vortex simula cómo afectan a una población una serie de eventos discretos y secuenciales que ocurren a lo largo de un número de años especificado por el usuario. Todos los eventos son variables aleatorias que siguen distribuciones que pueden ser seleccionadas por los usuarios. Aunque está diseñado para especies de vida larga, con baja fecundidad, como mamíferos, reptiles y aves (Lacy, 1993), la versión actual permite variar los días que tendría un año de esa

especie en concreto, permitiendo así su utilización con animales cuyo ciclo de vida se considera menor de 365 días (Lacy, Miller y Traylor-Holzer, 2015). La simulación de la población se repite muchas veces para generar la distribución de destinos que podría experimentar la población. Con estos modelos Vortex es capaz de identificar una amenaza individual para la cual una especie es particularmente vulnerable antes de que sus causas sean necesariamente visibles (Lacy, 1993).

Para saber más sobre el programa se puede acudir a su manual “Vortex 10 User’s Manual” (Lacy, Miller y Traylor-Holzer, 2015).

4. Justificación

Entender los distintos riesgos de extinción al que se enfrentan algunas poblaciones de especies puede ayudar a identificar cuáles son las prioridades a la hora de realizar planes de conservación; además las simulaciones permiten observar cómo distintas intervenciones afectan a la evolución de la situación de la especie permitiéndonos así tomar mejores acciones para su supervivencia.

Por ello la realización de un análisis de viabilidad de poblaciones para el demonio de Tasmania (*Sarcophilus harrisi*) es de vital importancia para así analizar su tendencia como especie y tomar decisiones adecuadas para su recuperación. Debe tenerse en cuenta que por las dificultades derivadas del hábitat que ocupa esta especie, cualquier intervención sobre el terreno es compleja, muy costosa y debe mantenerse durante un largo tiempo: es por lo tanto esencial disponer de las informaciones que se obtienen mediante las simulaciones para optimizar los recursos empleados. Además, estas simulaciones permiten prevenir posibles efectos indeseados de las intervenciones desarrolladas sobre la población.

5. Material y métodos

1. Se ha realizado una exhaustiva revisión bibliográfica empleando buscadores científicos tales como Google Scholar, Pubmed, Word Wide Science, Scholarpedia y Springer Link, así como fuentes oficiales como la IUCN’s Red List, para así poder establecer los valores correctos de los parámetros de población del Demonio de Tasmania y los datos necesarios para la simulación en Vortex.
2. Todas las simulaciones de población se realizan con el software Vortex, descrito en la introducción. Los parámetros aplicados son los siguientes:

5.1 Parámetros aplicados en las simulaciones del programa Vortex

- ❖ Se trabaja con un número mínimo inicial de 100 interacciones, a lo largo de 100 años. Cada año tiene 365 días.
- ❖ La extinción se define como la desaparición de uno de los sexos.
- ❖ Se emplea el número de adultos como población total ya que son los reproductores existentes.
- ❖ Se van a utilizar como poblaciones las descritas por Brüniche-Olsen et al. (2014) que son:
 - Población 1 (N_1) que representa a la población del noroeste con un tamaño de población de $N_1=308$ y una capacidad de carga de $k_1=1412$.
 - Población 2 (N_2) que representa a la población de la costa oeste con un tamaño de población de $N_2=414$ y una capacidad de carga de $k_2=971$
 - Población 3 (N_3) que representa a la población de la meseta central con un tamaño de población de $N_3=225$ y una capacidad de carga de $k_3=1912$.
 - Población 4 (N_4) que representa a la población de la costa este con un tamaño de población de $N_4=195$ y una capacidad de carga de $k_4=2023$.

En ocasiones se empleará una quinta población, que consistirá en la población seguro que se mencionaba en las medidas de conservación de la especie, que se usará para comprobar el efecto de translocación de individuos.
- ❖ Debido a la DFTD, la mortalidad a partir del año 2 aumentará a un 90% (Cheng et al. 2019) en las simulaciones en las que se indique un cambio en la mortalidad.
- ❖ Los datos reproductivos son constantes a lo largo de todas las simulaciones. Debido a las características reproductivas de la especie, se asume que el valor del porcentaje de hembras que paren al año es del 90%. Tal y como es propuesto por O`Grady et al. (2006), se asignará un valor de 10 a la desviación estándar de los ratios reproductivos asociada a la variación ambiental (EV). También se asumirá que la edad reproductiva es igual a la esperanza de vida debido a que es una especie de vida corta.
- ❖ Se mantiene el número de los equivalentes letales existentes propuesto en el programa Vortex por defecto (6,29), de acuerdo con las recomendaciones de O`Grady et al. (2006) al no tener evidencias de la necesidad del cambio de esta cifra. Los equivalentes letales son alelos deletéreos que causarían, en el caso de presentarse en homocigosis, que el individuo muriera (Morton, Crow y Muller, 1956) o una combinación de alelos equivalentes; así, por ejemplo, la presencia de un alelo con un 100% de letalidad en homocigosis equivale a la de cinco alelos cada uno de los cuales mostrara un 20% de letalidad en homocigosis.

- ❖ No se variará la correlación de variación ambiental (EV) entre las poblaciones que es propuesta por defecto por el programa. La EV es la variación de las probabilidades de supervivencia y reproducción anuales que aparecen debido a la variación aleatoria de las condiciones ambientales (Lacy, Miller y Traylor-Holzer, 2015). En otras palabras, la EV indica si la variación ambiental afecta a la supervivencia y capacidad de reproducción de cada población de igual manera.

Se emplearán los datos reproductivos reseñados en la siguiente tabla:

Ilustración 7. Tabla de parámetros reproductivos del demonio de Tasmania usados en el software Vortex.

Datos reproductivos	
Edad del primer parto	2 años
Edad de madurez sexual del macho	2 años
Esperanza de vida	8 años
Partos / año	1 parto/año
Prolificidad	4 crías/parto
Edad máxima de reproducción	8 años
Sex ratio	50
Tasas reproductivas	
% de hembras que producen crías en un año dado	90%
Desviación estándar debido a EV	10
Distribución de los camadas por año (%) – 0 camadas / 1 camada	0 / 100
Distribución normal del número de descendencia por camada y hembra	Media 2,5 / SD 1
Monopolización de la cópula - % de machos que se reproduce	100

5.2 Simulación 1.

Para esta primera simulación se va a asumir que no hay dispersión entre las poblaciones y que no existe la DFTD para ver la viabilidad de cada población con independencia de la enfermedad.

- Simulación nº 1, primera población (S1;N1)
- Simulación nº 1, segunda población (S1;N2)
- Simulación nº 1, tercera población (S1;N3)
- Simulación nº 1, cuarta población (S1;N4)

5.3 Simulación 2

Se analiza la viabilidad de cada población sin dispersión modificando la mortalidad tras los dos años simulando así el efecto que tiene la DFTD en la especie; la mortalidad aplicada aumentará a partir del segundo año al 90% (Cheng et al. 2019)

- Simulación nº 2, primera población (S2;N1)
- Simulación nº 2, segunda población (S2;N2)
- Simulación nº 2, tercera población (S2;N3)
- Simulación nº 2, cuarta población (S2;N4)

5.4 Simulación 3

Aquí simulamos una quinta población (P5), que representa la medida de conservación de la creación de una población segura libre de la DFTD en una isla cercana o un terreno aislado. P5 comienza con una población inicial de 150 individuos y su capacidad de carga será de 5000, que es el tamaño necesario de la población propuesto por Jones et al. (2007). El objetivo de esta simulación es valorar la viabilidad y cuánto tiempo tardaría la población en llegar a la capacidad de carga descrita.

5.5 Simulación 4

En este conjunto de simulaciones comprobaremos el efecto que tiene la presencia del zorro rojo (*Vulpes vulpes*) en distintos escenarios.

5.5.1 Simulación 4.1

En esta simulación analizaremos un escenario en el que el zorro rojo aprovechando el gran descenso de población del demonio de Tasmania se expande en el territorio y consume los recursos necesarios disminuyendo por tanto la capacidad de carga (k) de la isla de Tasmania. Se tratará como si las poblaciones fueran libres de DFTD.

- Simulación nº 4, primera población (S4.1;N1)
- Simulación nº 4, segunda población (S4.1;N2)
- Simulación nº 4, tercera población (S4.1;N3)
- Simulación nº 4, cuarta población (S4.1;N4)

5.5.2 Simulación 4.2

Misma simulación que la anterior, pero teniendo en cuenta el efecto de la DFTD.

- Simulación nº 4.2, primera población (S4.2;N1)
- Simulación nº 4.2, segunda población (S4.2;N2)
- Simulación nº 4.2, tercera población (S4.2;N3)
- Simulación nº 4.2, cuarta población (S4.2;N4)

5.5.3 Simulación 4.3

Igual que la simulación 4.1 (sin DFTD) pero la capacidad de carga va disminuyendo progresivamente debido a que el zorro rojo va ganándole terreno al demonio de Tasmania.

- Simulación nº 4.3, primera población (S4.3;N1)
- Simulación nº 4.3, segunda población (S4.3;N2)
- Simulación nº 4.3, tercera población (S4.3;N3)
- Simulación nº 4.3, cuarta población (S4.3;N4)

5.5.4 Simulación 4.4

Igual que la simulación 4.2 (con DFTD) pero la capacidad de carga va aumentando progresivamente debido a que el demonio de Tasmania va recuperando terreno con respecto al zorro rojo.

- Simulación nº 4.4, primera población (S4.4;N1)
- Simulación nº 4.4, segunda población (S4.4;N2)
- Simulación nº 4.4, tercera población (S4.4;N3)
- Simulación nº 4.4, cuarta población (S4.4;N4)

5.6 Simulación 5

Aquí comprobaremos el efecto que causaría la translocación de individuos sanos de la población 5 a las distintas poblaciones.

- Simulación nº 5, primera población (S5;N1)
- Simulación nº 5, segunda población (S5;N2)
- Simulación nº 5, tercera población (S5;N3)
- Simulación nº 5, cuarta población (S5;N4)

6. Resultados y discusión

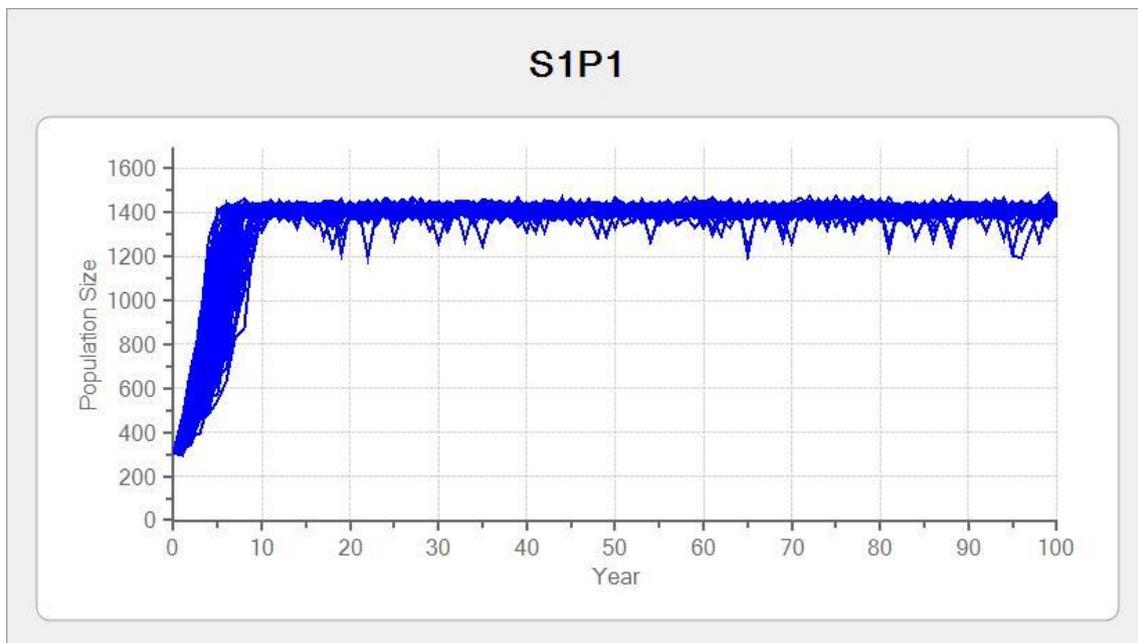
6.1 Resultados

Los resultados de las simulaciones se encuentran resumidos en la tabla de resultados. A continuación, se comentarán los resultados empleando para ello los códigos descritos en el apartado 5.

6.1.1 Simulación 1

La probabilidad de extinción de todas las poblaciones en una situación libre de la DFTD es de 0% y además acaba alcanzando los tamaños de población que tenía en el pasado lo que denota que la especie por sí misma tiene la capacidad de recuperarse de su situación siempre y cuando consigamos erradicar la enfermedad.

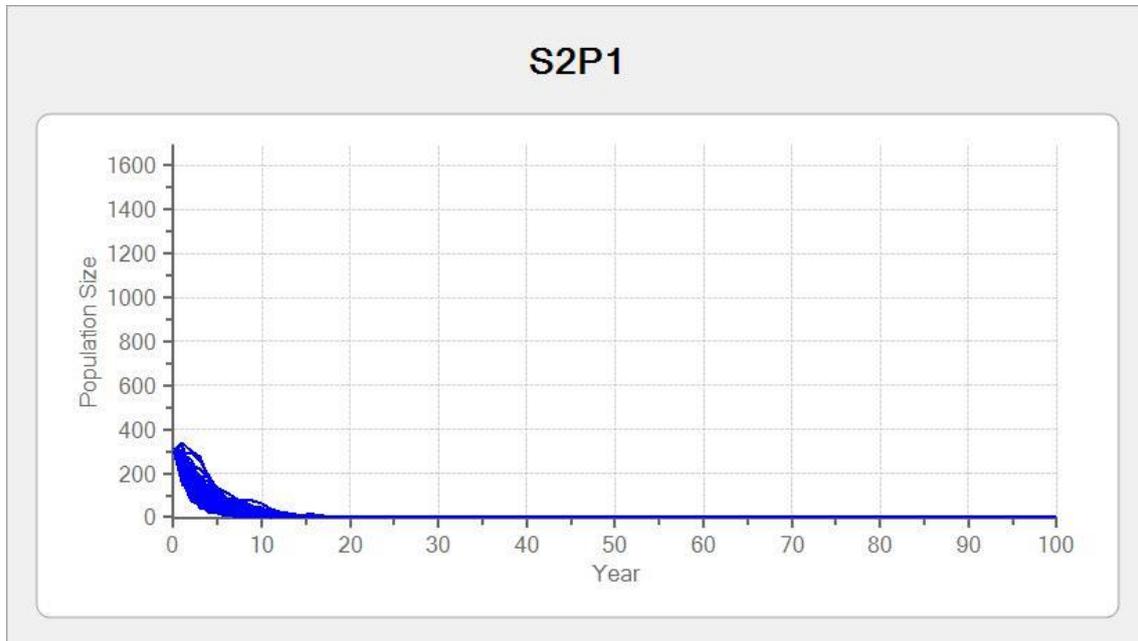
Ilustración 8. Representación gráfica de la tendencia temporal del tamaño de la población 1 (línea azul) de la simulación nº 1 en la que la población está libre de enfermedad. Realizado con el programa Vortex (Lacy y Pollack, 2020).



6.1.2 Simulación 2

En esta simulación se puede observar el devastador efecto que tiene la DFTD, que lleva a la extinción de la población de la p1 y de la p2 en 19 años, siendo la población 2 y 3 las que más tiempo sobrevivirían llegando a los 23 años, es decir, solo 4 años más que la p1.

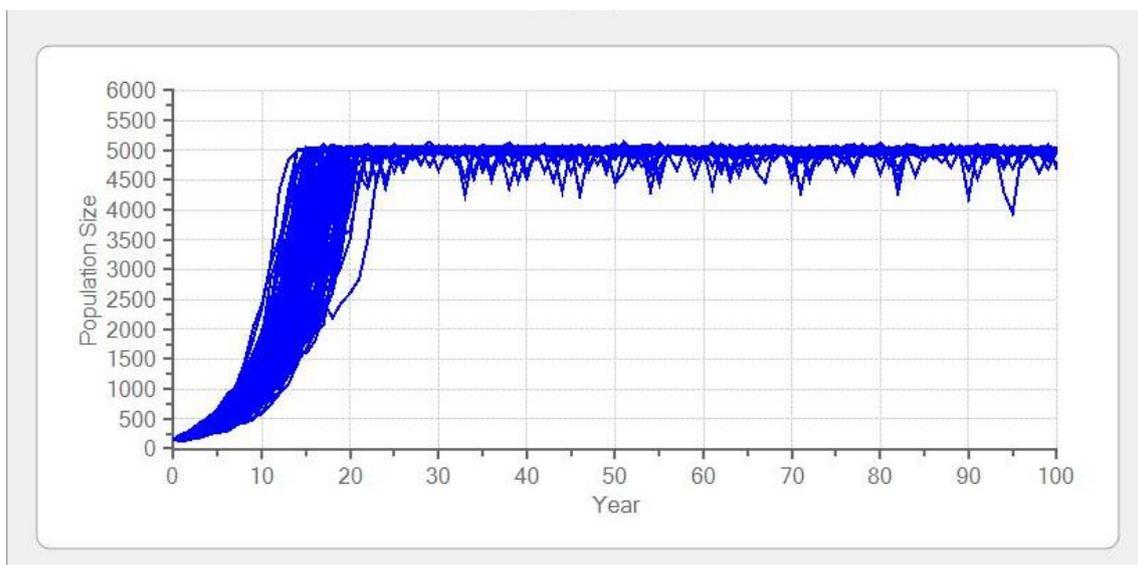
Ilustración 9. Representación gráfica de la tendencia temporal del tamaño de la población 1 (línea azul) de la simulación nº2 en la que se simula el efecto de la DFTD sobre la población. Realizado con el programa Vortex (Lacy y Pollack, 2020).



6.1.3 Simulación 3

En esta simulación se predice que la población libre de DFTD, que se trasladaría a una isla cercana para su reproducción y posterior translocación, alcanzaría la cantidad recomendada de 5000 ejemplares (Jones et al. 2007) a los 31 años, teniendo en cuenta que partimos de una población inicial de 150 individuos; esto remarca la gran capacidad reproductiva de esta especie, lo que facilitaría el uso de esta estrategia de conservación.

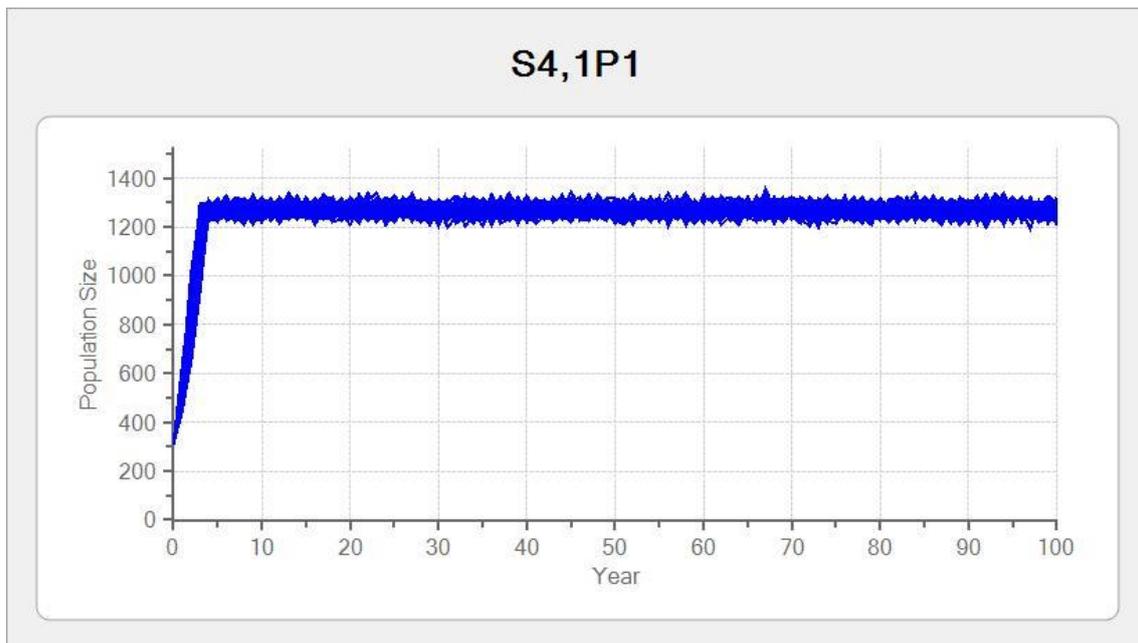
Ilustración 10. Representación gráfica de la tendencia temporal del tamaño de la población 5 (población segura) (línea azul) de la simulación nº3 en la que se valora su capacidad de alcanzar los 5000 individuos. Realizado con el programa Vortex (Lacy y Pollack, 2020).



6.1.4 Simulación 4.1

Aquí podemos observar que, aunque el tamaño de población del demonio de Tasmania descendería no se vería afectada la probabilidad de extinción la cual se mantendría en 0%

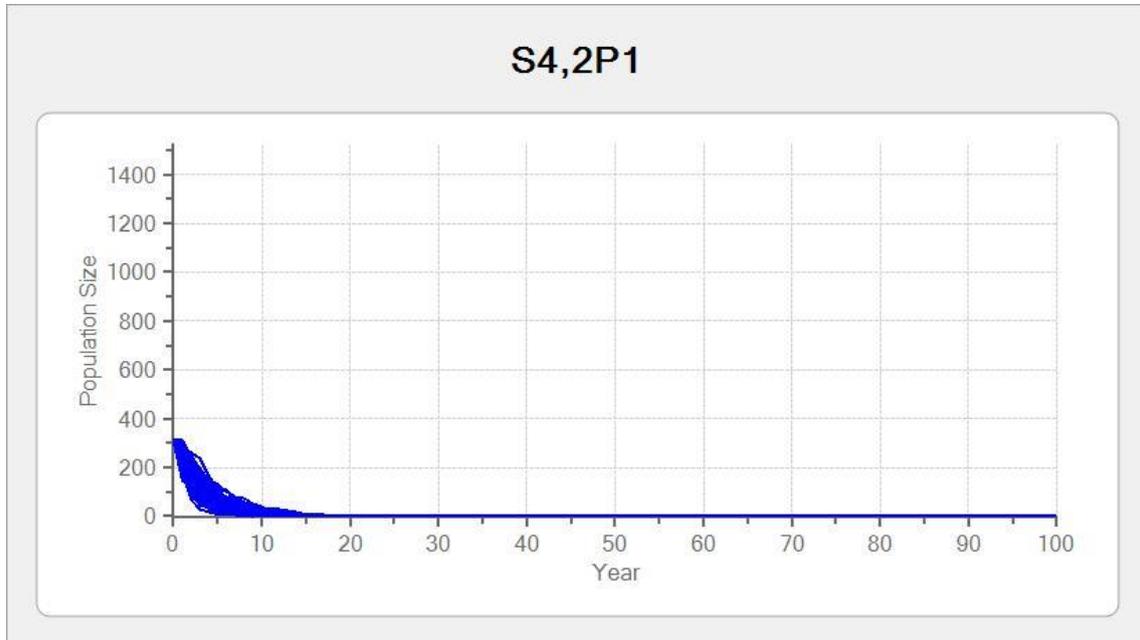
Ilustración 11. Representación gráfica de la tendencia temporal del tamaño de la población 1 (línea azul) de la simulación nº4.1 en la que se simula el efecto que tiene la disminución de la capacidad de carga, debida a la presencia de zorro rojo (Vulpes vulpes), sobre la población. Realizado con el programa Vortex (Lacy y Pollack, 2020).



6.1.5 Simulación 4.2

Al aplicar en el escenario anterior el efecto de la DFTD se observa que la población p1 y p4 se extinguirían totalmente en 17 años y la p2 y la p3 en 20 años, lo cual sería muy similar a la simulación 2.

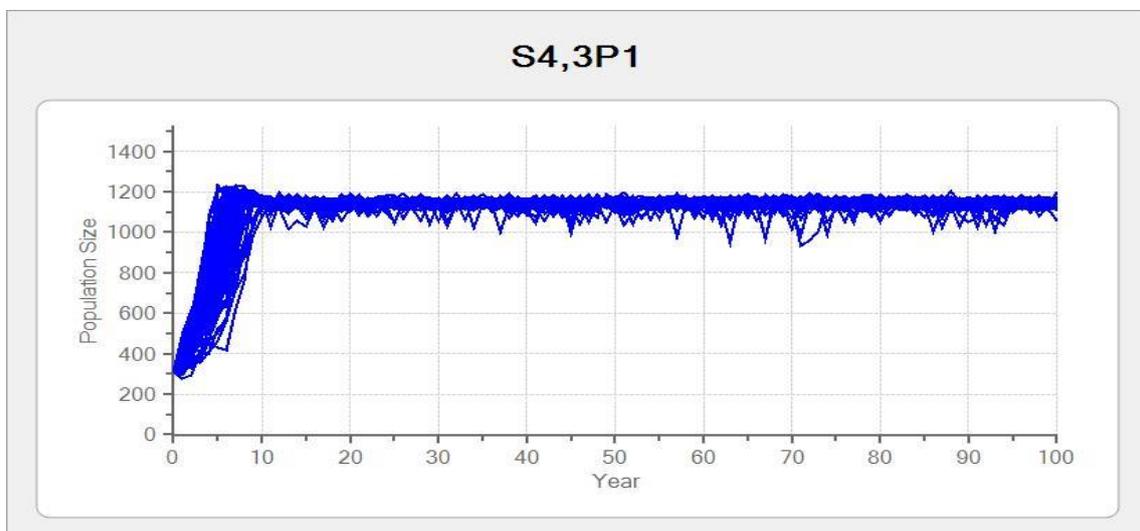
Ilustración 12. Representación gráfica de la tendencia temporal del tamaño de la población 1 (línea azul) de la simulación nº4.2 en la que se simula el efecto que tiene la disminución de la capacidad de carga, debida a la presencia de zorro rojo (*Vulpes vulpes*), sobre la población. A su vez se comprueba el efecto de la DFTD. Realizado con el programa Vortex (Lacy y Pollack, 2020).



6.1.6 Simulación 4.3

De nuevo se vuelve a observar que la modificación de la capacidad de carga no afecta a la probabilidad de extinción del demonio de Tasmania la cual se mantiene en 0%. Tan solo se ve afectada el tamaño de población final lo cual tiene sentido al estar disminuyendo la capacidad de carga.

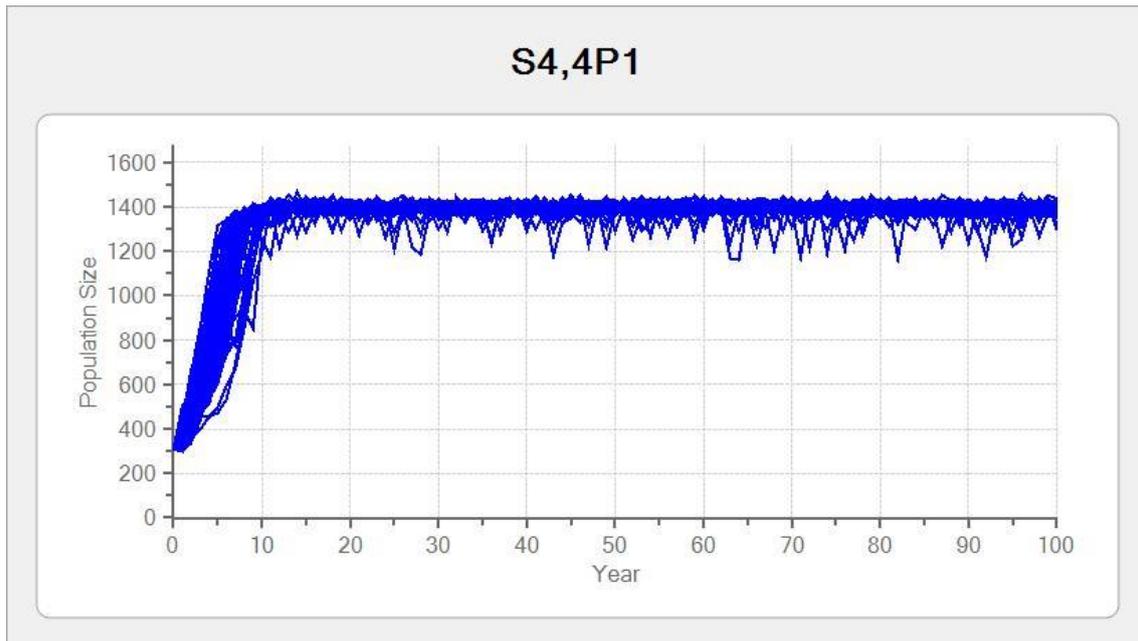
Ilustración 13. Representación gráfica de la tendencia temporal del tamaño de la población 1 (línea azul) de la simulación nº4.3 en la que se simula el efecto que tiene la disminución de la capacidad de carga, debida a la presencia de zorro rojo (*Vulpes vulpes*), sobre la población. En este caso la capacidad de carga va disminuyendo año a año simulando la victoria del zorro rojo frente al demonio de Tasmania. Realizado con el programa Vortex (Lacy y Pollack, 2020).



6.1.7 Simulación 4.4

Se observa lo contrario a la simulación anterior al verse un aumento en el tamaño de la población final lo cual concuerda con lo esperado al estar aumentando su capacidad de carga

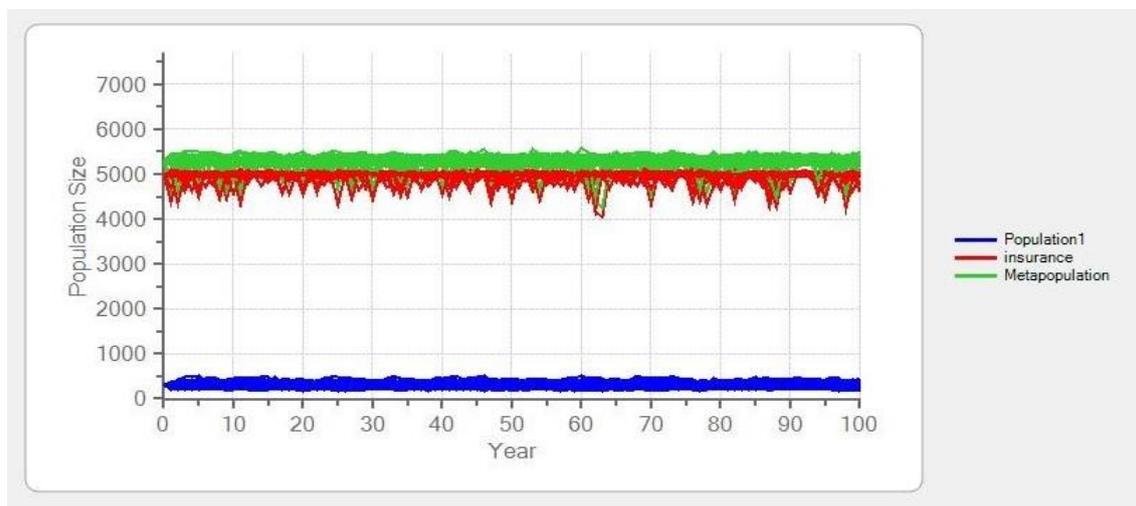
Ilustración 14. Representación gráfica de la tendencia temporal del tamaño de la población 1 (línea azul) de la simulación nº4.4 en la que se simula el efecto que tiene la disminución de la capacidad de carga, debida a la presencia de zorro rojo (Vulpes vulpes), sobre la población. En este caso la capacidad de carga va aumentando año a año simulando la victoria del demonio de Tasmania frente al zorro rojo. Realizado con el programa Vortex (Lacy y Pollack, 2020).



6.1.8 Simulación 5

En esta simulación se observa que la translocación de individuos sanos en las distintas poblaciones mientras siga existiendo en ellas la DFTD no es útil ya que las poblaciones p1, p2, p3 y p4 se extinguen de todas formas.

Ilustración 15. Representación gráfica de la tendencia temporal del tamaño de la población 1 (línea azul), de la población seguro (insurance) (línea roja) y de la meta-población (línea verde) de la simulación nº5 en la que se simula el efecto que tiene, en la viabilidad de la especie, la traslocación de individuos de la población seguro (P5) a la población 1 Realizado con el programa Vortex (Lacy y Pollack, 2020).



6.1.9 Tabla de resultados

Aquí se adjunta la tabla de resultados de las simulaciones.

N_0 - población inicial, R - Tasa de crecimiento exponencial, SD – Desviación estándar, PE – Probabilidad de extinción en tanto por uno, TME – Tiempo medio de extinción, AME – Año máximo de extinción, GD – Diversidad genética

Ilustración 16. Tabla de resultados obtenidos mediante las simulaciones en el software Vortex.

Simulación	Población	N_0	R	SD	PE	TME	AME	GD	
S1	P ₁	308	0,224	0,105	0	-	-	98	
	P ₂	414	0,22	0,107	0	-	-	97	
	P ₃	225	0,224	0,104	0	-	-	98	
	P ₄	195	0,225	0,104	0	-	-	98	
S2	P ₁	308	-0,377	0,278	1	14	19	0	
	P ₂	414	-0,312	0,26	1	15	23	0	
	P ₃	225	-0,345	0,291	1	12	23	0	
	P ₄	195	-0,324	0,274	1	13	19	0	
S3	P ₅	150	0,193	0,104	0	-	-	99	
S4	S4.1	P ₁	308	0,407	0,098	0	-	-	100
		P ₂	414	0,409	0,107	0	-	-	99
		P ₃	225	0,40	0,105	0	-	-	98
		P ₄	195	0,410	0,104	0	-	-	98

	S4.2	P ₁	308	-0,387	0,292	1	12	18	0	
		P ₂	414	-0,322	0,26	1	16	23	0	
		P ₃	225	-0,334	0,28	1	13	19	0	
		P ₄	195	-0,333	0,29	1	12	22	0	
	S4.3	P ₁	308	0,192	0,106	0	-	-	97	
		P ₂	414	0,189	0,105	0	-	-	97	
		P ₃	225	0,192	0,105	0	-	-	97	
		P ₄	195	0,194	0,105	0	-	-	98	
	S4.4	P ₁	308	0,193	0,105	0	-	-	97	
		P ₂	414	0,192	0,104	0	-	-	97	
		P ₃	225	0,195	0,104	0	-	-	98	
		P ₄	195	0,193	0,132	0	-	-	98	
S5	P ₁ -	P ₁	308	-0,323	0,252	1	15	19	0	
		P ₅	5000	0,176	0,104	0	-	-	99	
	P ₂ -	P ₂	414	-0,304	0,245	1	16	23	0	
		P ₅	5000	0,176	0,104	0	-	-	99	
	P ₃ -	P ₃	225	-0,324	0,267	1	14	24	0	
		P ₅	5000	0,176	0,104	0	-	-	99	
	P ₄ -	P ₄	195	-0,317	0,250	1	14	21	0	
		P ₅	5000	0,176	0,104	0	-	-	99	

6.2 Discusión

Mediante revisión bibliográfica se ha podido observar que hay dos métodos distintos a la hora de llevar a cabo las simulaciones. Por una parte, hay estudios en los cuales se atribuye que los atributos físicos de los medios en los que habita una meta-población tienen, generalmente, correlación con las tasas de extinción como es el caso de Hanski (1994). En cambio, existen otros trabajos denominados como estudios SPOM (modelos estocásticos de ocupación de parches) en los cuales se supone que las probabilidades de extinción varían en función de las diferencias entre las características ecológicas de cada territorio, es decir, de su heterogeneidad. Esto implica una percepción más realista del territorio (Hanski y Ovaskainen, 2003). Para emplear el enfoque de heterogeneidad del entorno se requieren gran cantidad de datos bibliográficos y, debido a que no ha sido posible disponer de los mismos, en este Trabajo

de Fin de Grado se ha empleado el enfoque de homogeneidad del entorno a la hora de llevar a cabo las simulaciones.

Los resultados de estas simulaciones indican que el demonio de Tasmania, debido a su gran capacidad reproductiva, no se ve apenas afectado por las modificaciones de la capacidad de carga ya sean por la alteración del hábitat por otras especies invasoras o por su degradación por el efecto del ser humano o del cambio climático siempre y cuando estas alteraciones se mantengan a niveles limitados. Esto no concuerda con las observaciones publicadas por otros autores en otras especies, como han publicado Lande (1993), Foley (1994), Middleton, Veitch y Nisbet (1995) y de la Lastra (2021); esto puede ser debido a la gran diferencia de las especies estudiadas con respecto a su capacidad reproductiva.

Llama la atención la similitud de nuestros resultados con los de Lorch et al. (2016), que analizan una situación muy similar a la de la DFTD pero estudiando los efectos de una enfermedad fúngica que afecta a varias especies de serpientes. En este estudio cabe destacar que algunas serpientes como la serpiente de cascabel (*Crotalus horridus*) que tienen una muy baja capacidad reproductiva, son muy sensibles al efecto de la enfermedad y la viabilidad de las poblaciones afectadas se ve muy mermada.

A su vez cabe destacar que, en algunas simulaciones, como la Simulación 4.3, la diversidad genética disminuye un 3% bajando al 97%, esto concuerda con los resultados de las simulaciones de otros autores como Andersen (2017) en las cuales, en algunas poblaciones aisladas (como es el caso del demonio de Tasmania al solo estar presente en una isla), veía disminuida su diversidad genética en un 3-4%.

En las gráficas se visibiliza muy claramente el enorme impacto que tiene la presencia de la DFTD. Precisamente, la primera simulación, en ausencia de DFTD, muestra que las poblaciones son capaces, no solo de sobrevivir, sino de alcanzar sus censos la capacidad de carga con rapidez sin tener en ningún momento riesgo de extinción. La introducción de la DFTD en la segunda simulación conduce rápidamente a la extinción de las poblaciones.

Hay numerosos ejemplos en los que se demuestra que la eliminación de uno o más factores permitirían a las poblaciones afectadas mantener una probabilidad de supervivencia muy alta a largo plazo. Es el caso, por ejemplo, de los estudios de Smith et al. (2017) sobre el gibón de Java (*Hylobates moloch*): detener la deforestación y prohibir la caza anularían casi totalmente la probabilidad de extinción, que en la actualidad es muy elevada.

Independientemente de la viabilidad de la especie en ausencia de DFTD, las poblaciones, tanto las actualmente supervivientes como la población segura de los planes de conservación, constan ya de muy pocos individuos; esto tal y como también resalta Fantle-Lepczyk et al. (2018) provoca que la especie sea muy sensible a cualquier evento estocástico y a cualquiera de las amenazas que ya le afectan, por lo que es de vital importancia que los censos se mantengan tan altos como sea posible.

En la tercera simulación se observa que el demonio de Tasmania tiene mucha facilidad para alcanzar niveles muy altos de población en intervalos no necesariamente largos de tiempo; aunque esto es favorable para la especie, no podemos olvidar los efectos que puede tener la colonización con este depredador, en islas en las que no estaba presente, sobre el resto de las especies que habitan en ese territorio. Esto ya se ha observado en 2012 cuando bajo el Programa Save the Tasmanian Devil se trasladó a Maria Island un grupo de demonios de Tasmania para establecer ahí una población segura, siguiendo así una de las medidas recomendadas por la IUCN para la conservación de la especie. Aunque el demonio de Tasmania se adaptó correctamente y pudo reproducirse sin problemas, ha contribuido a la drástica reducción de las colonias de numerosas aves que habitaban la isla, y la actuación en su conjunto es actualmente objeto de una gran polémica social a la vista de las observaciones científicas publicadas (Scoleri et al., 2020).

La simulación 5 indica que, aunque la población tenga gran capacidad de recuperación, si no se elimina primero la enfermedad DFTD no es viable emplear una población segura para translocar individuos a las poblaciones actuales. A pesar de ello es una medida muy útil para asegurar, que en el caso de que la DFTD llevara a todos los demonios de Tasmania de las poblaciones actuales a la extinción, siguieran existiendo ejemplares vivos y libres de la enfermedad. Y así comenzar su posterior reintroducción en el hábitat original. De hecho, si ocurriera ese supuesto escenario de extinción de la especie de las poblaciones actuales también se erradicaría la enfermedad y por tanto la estrategia de reintroducción podría llevarse a cabo. Además, tras observar en los resultados cómo se comporta el crecimiento de la población de la especie cuando no está presente la enfermedad se podría deducir que está reintroducción sería exitosa y que se podría así salvar la especie.

Mi recomendación sería crear una población segura y libre de la DFTD para asegurar la supervivencia de la especie. En esa población habría que asegurarse de evitar todo lo posible la consanguinidad: tal y como otros estudios, como el de He et al. (2020), es crucial evitar la pérdida de diversidad genética, ya que está afectada enormemente a la viabilidad de la especie.

Para ello sería recomendable que los individuos de dicha población procedieran de distintas subpoblaciones. En el demonio de Tasmania esto es especialmente importante ya que la capacidad de transmisión de la DFTD se basa en que, debido a la escasa diversidad genética del MHC, el sistema inmune de los individuos susceptibles no rechaza las células tumorales que les son introducidas. Una vez creada la población segura, lo más factible seguramente sea permitir que el resto de poblaciones se extingan para así extinguir también la enfermedad. Y una vez logrado eso ya se podría repoblar. Adicionalmente, la estrategia anteriormente mencionada podría combinarse con la vacunación de individuos (una vez exista una vacuna). Aunque sería una medida muy cara, algunos autores como Doak et al. (2013) han demostrado que la vacunación en masa es muy efectiva en la disminución de la probabilidad de extinción en casos de enfermedades contagiosas.

7. Conclusiones

- 1- Las simulaciones en las que no hay efecto de la DFTD dejan claro que la especie del demonio de Tasmania tiene una gran capacidad por si sola de recuperar sus censos y aproximarse la capacidad de carga de la isla
- 2- La especie del demonio de Tasmania apenas se ve afectada por moderadas modificaciones de su capacidad de carga como se observa en las simulaciones 4, 4.2 y 4.3. Esto es debido a alta capacidad reproductiva y a sus costumbres poliginándricas.
- 3- Es necesario erradicar la DFTD ya que en todas las simulaciones en las que se aplican los cambios en la mortalidad producidos por esta enfermedad la especie acaba extinguiéndose.
- 4- La translocación de individuos sanos de la población 5 (población segura) se debe hacer una vez erradicada la enfermedad, ya sea mediante el descubrimiento de alguna cura o dejando que la especie se extinga y posteriormente introduciendo estos ejemplares, ya que al introducirlos mientras la enfermedad está presente lo único que se consigue es que estos ejemplares acaben contagiándose y no evitando por ello la extinción de la especie en un plazo relativamente breve.

8. Conclusions

- 1- The simulations in absence of DFTD show that Tasmanian devils has a high potential of recovering on his own.

- 2- Tasmanian devils are hardly affected by moderate alterations of carrying capacity of the environment as we can see at simulations 4, 4.2 and 4.3; the reason is Tasmanian devils' high reproductive capacity and polygynandry.
- 3- Eradicating DFTD is needed as we can see in every DFTD effect simulation in which Tasmanian devils are always being wiped out.
- 4- In order to translocate healthy individuals from the population number five (insurance population) to the other populations, DFTD eradication must be previously completed. If the disease remains active on the target populations, it will spread to the translocated individuals, therefore not avoiding extinction.

9. Valoración personal

El motivo de elección del tema de este Trabajo de Fin de Grado (TFG) fue debido al interés que me generó la situación del demonio de Tasmania desde que supe que el motivo de que estuviera en peligro de extinción no era debido a las acciones del ser humano o de la degeneración del hábitat sino una enfermedad que consistía en tumores transmisibles.

Además, este trabajo me ha permitido aprender más tanto sobre la especie del demonio de Tasmania y su situación como de la rama de conservación de especies salvajes que es una temática en la que se profundiza muy poco durante la carrera.

Además, el análisis de la situación del demonio de Tasmania muestra la imprevisibilidad de los factores que pueden acarrear la extinción de una especie entera, pasando de ser una especie sin grandes problemas para su supervivencia a una especie a punto de extinguirse.

10. Bibliografía

Acevedo-Whitehouse, K., Vicente, J., Gortazar, C., Hofle, U., Fernandez de Mera, I. G. and Amos, W. 2005. Genetic resistance to bovine tuberculosis in the Iberian wild boar. *Molecular Ecology* 14, pp. 3209-3217.

Andersen LH, Sunde P, Pellegrino I, Loeschcke V, Pertoldi C. 2017. Using population viability analysis, genomics, and habitat suitability to forecast future population patterns of Little Owl *Athene noctua* across Europe. *Ecol Evol.* doi: 10.1002/ece3.3629. PMID: 29299275; PMCID: PMC5743613. <https://doi.org/10.1002/ece3.3629>

Archer, Bruce; Baynes, Ken; Roberts, P.H. 1992. The nature of research into Design and Technology education. Loughborough University. Book. <https://hdl.handle.net/2134/1687>

Brandies PA, Wright BR, Hogg CJ, Grueber CE, Belov K. 2021. Characterization of reproductive gene diversity in the endangered Tasmanian devil. *Mol. Ecol. Resour.* doi: 10.1111/1755-0998.13295. PMID: 33188658. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.13295>

Brüniche-Olsen A, Jones ME, Austin JJ, Burrridge CP, Holland BR. 2014. Extensive population decline in the Tasmanian devil predates European settlement and devil facial tumour disease. *Biol Lett.* PMID: 25376800; PMCID: PMC4261857. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0619>

Bruniche-Olsen A, Jones ME, Burrridge CP, Murchison EP, Holland BR, et al. 2018. 'Ancient DNA tracks the mainland extinction and island survival of the Tasmanian devil', *Journal of Biogeography*, 45, (5), pp. 963-976. ISSN 0305-0270.

Cheng, Y., Makara, M., Peel, E. et al. 2019. Tasmanian devils with contagious cancer exhibit a constricted T-cell repertoire diversity. *Commun. Biol.* <https://doi.org/10.1038/s42003-019-0342-5> [Consultado: 20-09-2021]

de la Lastra L. 2021. Análisis de Viabilidad de Población del Leopardo (*Panthera pardus*) en Sri Lanka mediante el software Vortex. <TAZ-TFG-2021-1441.pdf> (unizar.es)

Doak DF, Bakker VJ, Vickers W. 2013. Using population viability criteria to assess strategies to minimize disease threats for an endangered carnivore. *Conserv Biol.* doi: 10.1111/cobi.12020. PMID: 23521669 <https://doi.org/10.1111/cobi.12020>

Eldridge, M. D. B., King, J. M. and Loupis, A. K. 1999. Unprecedented low levels of genetic variation and inbreeding depression in an island population of the black-footed rock-wallaby. *Cons. Biol.* 13, pp. 531-541.

Fantle-Lepczyk J, Taylor A, Duffy DC, Crampton LH, Conant S. 2018. Using population viability analysis to evaluate management activities for an endangered Hawaiian endemic, the Puaiohi (*Myadestes palmeri*). *PLoS One.* doi: 10.1371/journal.pone.0198952. PMID: 29897991; PMCID: PMC5999280.

Farmer, W. D. 2006. Conservation genetics of the Tasmanian devil (*Sarcophilus harrisii*). School of Zoology, University of Tasmania, Australia. <http://dx.doi.org/10.1007/s10393-007-0120-6>

Foley, P. 1994. "Predicting extinction times from environmental stochasticity and carrying capacity". *Cons. Biol.*, 8, pp. 124–137. DOI: 10.1046/j.1523-1739.1994.08010124.x

Guiler, E. R. 1982. Temporal and spatial distribution of the Tasmanian Devil, *Sarcophilus harrisii* (Dasyuridae: Marsupialia). Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania 116, pp. 153-163.

Guiler, E. R. 1978. Observations on the Tasmanian devil, *Sarcophilus harrisii* (Dasyuridae: Marsupialia) at Granville Harbour, 1966-75. Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania 112, pp. 161-188.

Guiler, E. R. 1970. Observations on the Tasmanian devil, *Sarcophilus harrisii* (Marsupialia: Dasyuridae). II. Reproduction, breeding, and growth of pouch young. Australian Journal of Zoology 18, pp. 63-70.

Hamede RK, McCallum H, Jones M. 2013. Biting injuries and transmission of Tasmanian devil facial tumour disease. J Anim. Ecol. doi: 10.1111/j.1365-2656.2012.02025.x. PMID: 22943286. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1365-2656.2012.02025.x>

Hanski, I, Ovaskainen, O. 2003. "Metapopulation theory for fragmented landscapes". Theoretical Population Biology, 64(1), pp. 119-127. DOI: 10.1016/S0040-5809(03)00022-4

Hanski, I. 1994. "A practical model of metapopulation dynamics". Journal of Animal Ecology, 63 (1), pp. 151–162. DOI: <https://doi.org/10.2307/5591>

He C, DU J, Zhu D, Zhang L. 2020. Population viability analysis of small population: a case study for Asian elephant in China. Integr Zool. doi: 10.1111/1749-4877.12432. PMID: 32246885. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12432>

Hesterman, H., Jones, S. M. and Schwarzenberger, F. 2008. Reproductive endocrinology of the largest dasyurids; characterization of ovarian cycles by plasma and fecal steroid monitoring. Part 1. The Tasmanian devil (*Sarcophilus harrisii*). General and Comparative Endocrinology 155, pp. 234-244.

IUCN. 2008. IUCN Red List of Threatened Species. Available at: <http://www.iucnredlist.org>. [Accessed: 29 January 2021].

James S, Jennings G, Kwon YM, Stammnitz M, Fraik A, Storfer A, Comte S, Pemberton D, Fox S, Brown B, Pye R, Woods G, Lyons B, Hohenlohe PA, McCallum H, Siddle H, Thomas F, Ujvari B, Murchison EP, Jones M, Hamede R. 2019. Tracing the rise of malignant cell lines: Distribution, epidemiology and evolutionary interactions of two transmissible cancers in Tasmanian devils. Evol Appl. doi: 10.1111/eva.12831. PMID: 31548856; PMCID: PMC6752152. <http://dx.doi.org/10.1111/eva.12831>

Johnson, C. N. and Wroe, S. 2003. Causes of extinction of vertebrates during the Holocene of mainland Australia: arrival of the dingo, or human impact? *Holocene* 13, pp. 941-948.

Jones, M. E. 2000. Road upgrade, road mortality and remedial measures: impacts on a population of eastern quolls and Tasmanian devils. *Wildlife Research* 27, pp. 289-296.

Jones, M. E. and Barmuta, L. A. 1998. Diet overlap and relative abundance of sympatric dasyurid carnivores: a hypothesis of competition. *Journal of Animal Ecology* 67, pp. 410-421.

Jones, M. E., Hawkins, C. E., Baars, C., Hesterman, H., Hocking, G. J., Lazenby, B., Mann, D., Mooney, N., Pemberton, D., Pyecroft, S., Restani, M. and Wiersma, J. 2006. Emerging disease and population decline of an island endemic, the Tasmanian devil *Sarcophilus harrisii*. *Biological Conservation* 131, pp. 307-324.

Jones, M. E., Jarman, P., Lees, C., Hesterman, H., Hamede, R., Mooney, N., Mann, D., Pukk, C., Bergfeld, J. and McCallum, H. 2007. Conservation management of Tasmanian devils in the context of an emerging, extinction-threatening disease: Devil Facial Tumor Disease. *EcoHealth* 4, pp. 326-337.

Jones, M. E., Paetkau, D., Geffen, E. and Moritz, C. 2004. Genetic diversity and population structure of Tasmanian devils, the largest marsupial carnivore. *Molecular Ecology* 13, pp. 2197-2209.

Lachish, S., Jones, M. and McCallum, H. 2007. The impact of devil facial tumour disease on the survival and population growth rate of the Tasmanian devil. *Journal of Animal Ecology* 76, pp. 926-936. <https://www.jstor.org/stable/4539201>

Lachish, S., McCallum, H. and Jones, M. 2009. Demography, disease and the devil: life-history changes in a disease affected population of Tasmanian devils (*Sarcophilus harrisii*). *Journal of Animal Ecology* 78(2), pp. 427-436. <https://www.jstor.org/stable/27696382>

Lacy, R.C. 1993. "VORTEX: A computer simulation model for Population Viability Analysis". *Wildlife Research*, 20(1), pp. 45-65. DOI: 10.1071/WR9930045

Lacy, R.C. 2000. "Structure of the Vortex simulation model for population viability analysis". *Ecological Bulletins*, 48, pp. 191-203. DOI: 10.2307/20113257

Lacy, R.C., and J.P. Pollak. 2020. "Vortex: A stochastic simulation of the extinction process. Version 10.3.8". Chicago Zoological Society, Brookfield, Illinois, USA.

Lacy, R.C., P.S. Miller, and K. Traylor-Holzer. 2015. "Vortex 10 User's Manual". IUCN SSC Conservation Breeding Specialist Group, and Chicago Zoological Society. Apple Valley, Minnesota, USA, actualizado el 19 de enero de 2015

Lande, R. 1993. "Risks of population extinction from demographic and environmental stochasticity and random catastrophes". *The American Naturalist*, 142 (6), pp. 911–927. DOI: 10.1086/285580

Lorch JM, Knowles S, Lankton JS, Michell K, Edwards JL, Kapfer JM, Staffen RA, Wild ER, Schmidt KZ, Ballmann AE, Blodgett D, Farrell TM, Glorioso BM, Last LA, Price SJ, Schuler KL, Smith CE, Wellehan JF Jr, Blehert DS. 2016. Snake fungal disease: an emerging threat to wild snakes. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. doi: 10.1098/rstb.2015.0457. PMID: 28080983; PMCID: PMC5095536. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0457>

McCallum, H. I.; Hamede, R. K., and Jones, M. E. 2008. Seasonal, demographic and density-related patterns of contact between Tasmanian devils (*Sarcophilus harrisii*): Implications for transmission of devil facial tumour disease. *Austral Ecology* 33(5), pp. 614-622.

McCallum, H., Tompkins, D. M., Jones, M., Lachish, S., Marvanek, S., Lazenby, B., Hocking, G., Wiersma, J. and Hawkins, C. E. 2007. Distribution and impacts of Tasmanian Devil Facial Tumour Disease. *Ecohealth* 4, pp. 318-325. <https://doi.org/10.1007/s10393-007-0118-0>

McCallum H, Jones M. 2006. To Lose Both Would Look Like Carelessness: Tasmanian Devil Facial Tumour Disease., *PLoS Biology* Vol. 4/10/2006, e342. doi:10.1371/journal.pbio.0040342. [Consultado: 20-09-2021]

McLennan, E.A., Gooley, R.M., Wise, P. et al. 2018. Pedigree reconstruction using molecular data reveals an early warning sign of gene diversity loss in an island population of Tasmanian devils (*Sarcophilus harrisii*). *Conserv Genet* 19, pp. 439–450.

Middleton, D.A.J., Veitch, A.R. y Nisbet, R.M. 1995. "The effect of an upper limit to population size on persistence time". *Theoretical Population Biology*, 48(3), pp. 277–305. DOI:10.1006/tpbi.1995.1030

Miller W, Hayes VM, Ratan A, et al. 2011. Genetic diversity and population structure of the endangered marsupial *Sarcophilus harrisii* (Tasmanian devil). *Proc Natl Acad Sci U S A*. PMID: 21709235; PMCID: PMC3145710. <https://doi.org/10.1073/pnas.1102838108>

Morton, N.E., Crow, J. F. y Muller, H. J. (1956). "An Estimate of the Mutational Damage in Man From Data on Consanguineous Marriages". National Academy of Sciences of the United States of America, 42(11), pp. 855-863. DOI: 10.1073/pnas.42.11.855

Owen, D. and Pemberton, D. 2005. The Tasmanian devil: a unique and threatened animal. Allen & Unwin, Australia.

Owen, RS, Siddle, HV. 2019. Towards a Vaccine. Immunol Invest. ,48(7), pp. 719-736. doi: 10.1080/08820139.2019.1624770. PMID: 31161832.

O'Grady, J., Brook, B., Reed, D., Ballou, J. Tonkyn, D. y Frankham, R. 2006. "Realistic levels of inbreeding depression strongly affect extinction risk in wild populations". Biological Conservation, 133(1), pp. 42-51. DOI: 10.1016/j.biocon.2006.05.016

Pearse, A.-M. and Swift, K. 2005. Transmission of devil facial-tumour disease. Nature pp. 439: 549.

Pemberton, D. 1990. Social organisation and behaviour of the Tasmanian devil, *Sarcophilus harrisii*. University of Tasmania.

Pye R, Hamede R, Siddle HV, Caldwell A, Knowles GW, Swift K, Kreiss A, Jones ME, Lyons AB, Woods GM. 2016. Demonstration of immune responses against devil facial tumour disease in wild Tasmanian devils. Biol Lett. doi: 10.1098/rsbl.2016.0553. PMID: 28120799; PMCID: PMC5095191. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0553>

Pukk, C. E. 2005. The habitat use of Tasmanian devils *Sarcophilus harrisii* across natural and pastoral landscapes. University of Tasmania.

Russell T, Lisovski S, Olsson M, Brown G, Spindler R, Lane A, Keeley T, Hibbard C, Hogg CJ, Thomas F, Belov K, Ujvari B, Madsen T. 2018. MHC diversity and female age underpin reproductive success in an Australian icon; the Tasmanian Devil. Sci Rep. doi: 10.1038/s41598-018-20934-9. PMID: 29520077; PMCID: PMC5843591. https://slisovski.rbind.io/publication/journal-article/russell_et_al-2018_scientificreports/

Scoleri VP, Johnson CN, Vertigan P, Jones ME. 2020. Conservation trade-offs: Island introduction of a threatened predator suppresses invasive mesopredators but eliminates a seabird colony. Biological Conservation 248, 108635

Siddle, H. V., Kreiss, A., Eldridge, M. D. B., Noonan, E., Clarke, C. J., Pyecroft, S., Woods, G. M. and Belov, K. 2007. Transmission of a fatal clonal tumour by biting occurs due to depleted MHC diversity in a threatened carnivorous marsupial. Proceedings of the National Academy of

Sciences of the United States of America 104, pp. 16221-16226.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0704580104>

Smith JH, King T, Campbell C, Cheyne SM, Nijman V. 2017. Modelling Population Viability of Three Independent Javan Gibbon (*Hylobates moloch*) Populations on Java, Indonesia. *Folia Primatol (Basel)*. 2017;88(6), pp. 507-522. doi: 10.1159/000484559. PMID: 29393266.