

CONSERVACIÓN “*ex situ*”: LOS ZOOLOGICOS Y LA GENÉTICA DE LA CONSERVACIÓN

Leizagoyen, C.¹

RESUMEN

La diversidad biológica de nuestro planeta esta siendo reducida ya sea en forma directa o indirecta por la actividad humana. Al disminuir el tamaño de las poblaciones, la perdida de su diversidad genética disminuye la habilidad para adaptarse al medioambiente. El objetivo de este trabajo es delinear como la genética puede actuar ayudando a la conservación de especies en peligro al ser aplicada en el manejo de las pequeñas poblaciones en Jardines Zoológicos.

PALABRAS CLAVE: Conservación, Ex situ, Zoológicos, Biodiversidad, Genética de la conservación.

SUMMARY

“*Ex situ*” CONSERVATION: ZOOS AND CONSERVATION GENETICS

The biological diversity of our planet is being depleted, due to the direct and indirect consequences of human activity. As the size of populations decrease, loss of genetic diversity reduces their ability to adapt to changes in the environment. The objective of this paper is to outline how genetics can act as an aid in conservation of endangered species through the management of small populations in Zoological Gardens.

KEY WORDS: Zoo, Ex situ Conservation, Biodiversity, Conservation Genetics.

INTRODUCCIÓN

La pérdida de diversidad biológica es uno de los grandes problemas que actualmente enfrenta el ser humano siendo a la vez él el principal responsable, apareciendo ya en el Pleistoceno tardío.

La extinción es un proceso natural, se calcula que entre el 77 y el 96% de todas las especies que han existido se han extinto (Raup 1991). No tiene por qué suponer una pérdida de diversidad biológica siempre y cuando haya originado especies nuevas que se adapten mejor a las nuevas condiciones (evolución). El problema surge cuando el ritmo es tan rápido que se elimina el proceso evolutivo. Esto es lo que ha acaecido en los últimos 400 años, llevando a un total de 784 especies extintas, (pasando de 8 en el 2002, 17 en el 2003 y 1731 en el 2004) y 23675 amenazadas de extinción (UICN Libro Rojo 2004)

Si se realizaran extrapolaciones y la extinción fuera un proceso lineal acorde al rango de destrucción de hábitat

tendríamos un rango similar a un proceso en masa: en los próximos 100 años se extinguirían el 50 % de las especies.

Así como el mundo ha cambiado, los zoológicos han debido adecuarse a esos cambios y pasar de ser centros meramente recreativos a ser centros de conservación de especies amenazadas. No es el punto discutir si son buenos o malos, sino que deben tomarse como lo que son: una herramienta más para ayudar a la conservación de la biodiversidad. La población en cautiverio surge como una fuente de recursos, tanto biológicos como educativos y monetarios a la vez de retroalimentarse de recursos biológicos de la naturaleza en casos necesarios

En la década del 60 comenzaron los programas de conservación a gran escala:

- 1) Se establecieron los Studbooks Internacionales Estos incluyen datos como sexo, edad, ancestros, lugar de nacimiento, lo que permitió llevar un pedigrí de las poblaciones cautivas. Al año 2003 estaban involucradas 281 Instituciones Zoológicas de 47 paí-

¹Zoológico Parque Lecocq, Unidad de Parques Municipales Protegidos. Intendencia Municipal de Montevideo, Uruguay.

ses con 167 *studbooks* internacionales, 903 regionales y 87 programas de manejo;

- 2) En 1981 comenzaron los programas de sobrevivencia de especies (SSPs) en los zoológicos de América del Norte contando al presente con 105 SSP, (incluyendo 3 especies autóctonas);
- 3) En 1985 se iniciaron los programas europeos (EEPs) llegando a 151. No existen programas similares en Sudamérica.
- 4) Actualmente se está desarrollando un nuevo programa, el ZIMS (Sistema de Manejo Zoológico) intentando montar una red que provea información sobre manejo y actividades.

Recién en la década de los 90, con la publicación de la Estrategia Mundial para la Conservación en Zoológicos, los roles de los mismos fueron documentados, describiendo sus responsabilidades y sus limitaciones (IUDZG 1993). En mayo del 2005 fue publicada la Nueva Estrategia para la Conservación: Construyendo un Futuro para la Vida Silvestre (WAZA 2005) Allí se establece que las poblaciones en cautiverio deben ser estables demográficamente, saludables y capaces de autosustentarse, estar distribuidas entre varias instituciones de manera de evitar catástrofes, poseer tamaños suficientes que les permitan mantener altos niveles de diversidad genética

El concepto de manejo poblacional implica cuidados veterinarios, estudios comportamentales, manejo demográfico (monitoreando números, edades, sexos y estructuras sociales) y genético (verificando especies, posibles pasadas hibridaciones y evitando el efecto de la pérdida de diversidad). Su coordinación es absolutamente necesaria.

La nueva Visión ideada es: "Todos los Zoológicos y Acuarios deben ser Centros expertos de manejo de pequeñas poblaciones y verse involucrados en programas de crianza globales o regionales. Todos estos programas deben estar basados en los más modernos conceptos de manejo poblacional, biología reproductiva genética, comportamiento, fisiología, nutrición, cuidados veterinarios y manejo" (WAZA 2005).

Por lo tanto, si bien históricamente los zoológicos han sido vistos como santuarios donde la vida debe ser mantenida a cualquier costo, en los últimos años se ha comenzado a comprender a través de los genetistas que la calidad de los especímenes es más vital que la cantidad. En un estudio realizado por Princée en 1996, se vio que el 64% de los mamíferos amenazados de extinción existentes en zoológicos europeos tenían 100 o menos individuos (Princée, 1996).

Aunque sea una utopía pretender preservar todas las especies en peligro, sí se deben establecer programas de conservación eficientes que lleven a una disminución de los actuales rangos de extinción. Para ello deben aplicarse claras técnicas de manejo poblacional en el intento de contestar la pregunta que se hizo M. Soule en 1987. ¿Cuán largo el viaje, cuántos pasajeros y cuántas cabinas para invitados? (Soule, 1987).

ESTRATEGIAS DE MANEJO EN CAUTIVERIO

Cuando se habla de especies amenazadas, se habla de poblaciones pequeñas, cuyo manejo se basa en los mismos pilares ya sean cautivas o en la naturaleza. Las causas que pueden llevar a que se encuentre amenazada pueden variar desde la pérdida de hábitat, polución patógena, sobreexplotación, etc. causas continuas y predecibles o deterministas que llevan a la declinación de la población Pueden ser afectadas por el llamado Efecto Allee, (cuando el crecimiento demográfico se ve reducido por la dificultad de los organismos de conseguir pareja). Sin embargo las causas que finalmente la llevaran a la extinción pueden ser simplemente hechos regidos por el azar, poblaciones pequeñas tienen mucho mayor riesgo de sufrir factores estocásticos (impredicibles y no regulables) (Lacy, 1994).

Los procesos estocásticos que repercuten en las poblaciones han sido catalogados en (Shaffer, 1981):

- Estocasticidad demográfica. Fluctuación casual de la tasa de mortalidad, natalidad, cociente sexual que se apartan de las expectativas estadísticas
- Variación ambiental. Fluctuación de las probabilidades de nacimientos y muertes debido a cambios medioambientales. Condiciones climáticas, enfermedades enzoóticas, abundancia de presas o predadores
- Acontecimientos catastróficos. Condiciones extremas de cambios meteorológicos o epidemias
- Deriva genética. Las pequeñas poblaciones están sujetas a la llamada deriva genética, o sea un cambio en el pool genético de una población que se lleva a cabo únicamente por azar, que es tan pequeño que esos cambios derivaran en un cambio sustancial. En poblaciones lo suficientemente grandes, cualquier alelo específico es llevado por tantos individuos que es casi segura su transmisión a menos que sea biológicamente desfavorable.

Tres procesos pueden llevar a perder la diversidad genética (Princée, 1994):

- 1) Deriva genética
- 2) Consanguinidad
- 3) Selección

1) La deriva genética esta directamente vinculada al número efectivo poblacional. Fue definido por Wright (1931) como el número de individuos que si fueran uniones de gametos al azar perderían la heterocigocidad en el rango observado en la población real. Es la medida de cuán bien una población mantiene la diversidad genética de una generación a otra. El Número Efectivo de una población no es simplemente el número de individuos, sino el tamaño de la población genéticamente efectivo (N_e). Se considera en función del número de reproductores, proporción de sexos, media y varianza en número de crías que producen.

La diversidad genética es perdida a un rango de $\frac{1}{2N_e}$ por generación. Poblaciones con bajo N_e pierden su diversidad genética más rápidamente. Para estrategias reproductivas de poliginia, se estima en base a:

$$N_e = \frac{4 N_m N_f}{N_m + N_f}$$

donde N_m y N_f son los números totales de machos y hembras adultas de la población

2) El hecho de evitar la consanguinidad en los zoológicos ha sido comúnmente el equivalente a un manejo genético. No es infrecuente que la depresión endogámica ya ocurra en una segunda generación, debido a los cruzamientos que son posibles de realizar, afectando de alguna manera a la población que la sufre, generalmente produciendo mortandad perinatal (Ralls & Ballou, 1983). Por ejemplo, en un estudio realizado en el zoológico de Chicago (Lacy, 1993) en una población de *Addax nasomaculatus*, se demostró que la mortandad perinatal se incrementaba cuando se incrementaban los períodos donde los padres se cruzaban con hijas y nietas. Sin embargo, diferentes especies reaccionan de diferente manera como es el caso los leopardos (*Panthera pardus*) donde hay subespecies donde la consanguinidad no produce muertes perinatales (Shoemaker, 1982), o bisontes europeos (*Bison bonasus*) (Slatis, 1960).

Otra especie como el Callimico mostró una disminución de la sobrevivencia en un 33% por cada 10 % de incremento en la consanguinidad y variando también acorde al sexo (10,9 contra 3,2 equivalentes letales hembra y macho respectivamente). Los datos obtenidos de poblaciones

cautivas han demostrado que la depresión endogámica está ampliamente distribuida en poblaciones silvestres causando muertes perinatales. Sin embargo, como afecta de manera diferente acorde a especie, población e incluso sexo, es imposible extrapolar datos a otras especies no estudiadas (Lacy, 1993).

También se han detectado problemas a nivel del Complejo de Histocompatibilidad Mayor, responsable de iniciar la respuesta inmune, ya que manteniendo su heterocigocidad el individuo será capaz de defenderse mejor contra diferentes patógenos. Tal es el problema que enfrenta la población de cheetas, lo cual se puso de manifiesto cuando un coronavirus provocó la peritonitis infecciosa felina, muriendo el 60 % en un santuario felino de Oregon, mientras que al mismo tiempo la población de leones no fue afectada (O'Brien 1985). Otros casos reportados fueron individuos más susceptibles a sufrir infestaciones parasitarias (Cassinello, 2001).

3) La depresión endogámica puede resultar al intentar seleccionar contra alelos deletéreos. Los efectos de la selección son dificultosos de calificar y/o cuantificar por lo que por regla general el manejo en cautiverio se realiza evitando la misma y dando a todos los individuos igual chance de reproducción

Algunos de los factores mencionados anteriormente (variaciones ambientales, catástrofes etc.) son los que se tratan de mitigar cuando se decide llevar a una especie al cautiverio. Por lo tanto varios son los pasos a seguir al manejar una especie en cautiverio:

- a) Como primera medida se debe contar con la precisa taxonomía de la especie y/o subespecie a manejar. Por ejemplo el león asiático (*Panthera leo persica*) es una subespecie de león evolucionada hace 100.000 años, tiempo que si se mide evolutivamente es muy corto, de allí que puedan aún producir crías viables. El SSP había comenzado en 1981 con 7 fundadores, sin embargo con posterioridad se demostró que estos animales eran híbridos. Un análisis de microsatélites en locus Fca 77 y Fca 126 diferencia los asiáticos de los híbridos ya que los primeros no exhiben polimorfismo, algo que sí ocurre en los híbridos (O'Brien, 1987).
- b) Contar con individuos plenamente identificados (Cavanas, tatuajes, electrónicamente, etc.) lo cual permite llevar un exacto pedigrí, realizando en casos necesarios estudios retrospectivos y prospectivos del mismo para permitir diseñar programas de crías para minimizar la variación del tamaño familiar.
- c) Establecer planes que maximicen el número efectivo poblacional a la vez de identificar los ejemplares

genéticamente valiosos. De cualquier manera, no es la estrategia más efectiva para mantener la diversidad genética de poblaciones en cautiverio, ya que éstas se caracterizan por tener muy pocos fundadores y un tamaño poblacional reducido. Además históricamente los zoológicos basaron su estrategia reproductiva beneficiando la reproducción de individuos fácilmente manejables, sumado al mantenimiento de un macho por varias hembras, lo que lleva a sobre representar líneas fundadoras. Por esto no alcanza con maximizar el número efectivo poblacional, sino que muchas veces debe seguirse una estrategia que no omita toda la información que suministra el análisis del pedigrí.

- d) El análisis del pedigrí debe comenzar con el establecimiento de los fundadores, es decir individuos con ancestros no relacionados o desconocidos que se consideren como tales. Aquellos fundadores que estén sub representados deben ser localizados a los efectos de evitar la pérdida de sus genes, por lo tanto debe calcularse la media de contribución de cada fundador a la población. Esto asegura que la variación genética que estaba representada en cada fundador no es excluida. El Coeficiente de Importancia del Fundador (Fic) determina el grado de que un individuo descienda de un sobre o sub representado fundado (Ballou, 1994).

$$Fic_i = \sum_{j=1}^{Nf} (p_j \times p_{ji})$$

donde: p_j es la contribución del fundador j al pool genético de la población, p_{ji} es la contribución del fundador j al individuo i y Nf es el número de fundadores.

Individuos que poseen genes de fundadores sobre representados no son tan genéticamente valiosos como aquellos que poseen genes de fundadores sub representados. No se puede tomar únicamente el valor de Fic como base de manejo, ya que no toma en cuenta la pérdida de alelos fundadores (individuos descendientes de fundadores sub representados también pueden llevar alelos de aquellos sobre representados). A modo de ejemplo, en la colonia de *Papio hamadrya* del Parque Lecocq existen 9 líneas fundadoras (una sobrerrepresentada) mientras que en la población de *Addax nasomaculatus* se debió partir de solamente 2.

- e) La consanguinidad no es heredable y puede ser eliminada en generaciones siguientes apareando animales consanguíneos con otros no relacionados, no

así el parentesco, el hecho de combinar alelos raros y comunes en el mismo individuo (Willis, 1993). Cuando se alcanza homogeneidad génica en una población, la selección no tiene gran incidencia y comienza a actuar la deriva génica.

La importancia genética puede estar relacionada con el número y cantidad de parientes que tenga en una población dada ya que aquellos con muchos parientes van a llevar alelos comunes y por lo tanto son menos importantes que aquellos con pocos parientes. Una estrategia a utilizar para maximizar la retención genética es mediante el cálculo de la Media de Parentesco (Mk). Es la media de cuán relacionado está cada animal con todos los demás integrantes vivos de la población (incluido él mismo). Por extensión, el promedio de las medias de parentesco de una población equivale al promedio del coeficiente de consanguinidad de toda la progenie si los cruzamientos fueran al azar (Ballou 1994).

$$Mk = \frac{\sum_{j=1}^N k_{ij}}{N}$$

El coeficiente de parentesco k_{ij} es la relación entre un par de individuos y puede ser definida como la probabilidad de que alelos tomados al azar de cada uno de los dos individuos (i y j) sean idénticos por descendencia (Falconer, 1981). Para ello se construye una matriz aditiva donde se calcula la relación existente entre cada individuo y el resto de la población donde:

$k_{ij} = (k_{ia} + k_{ib}) \cdot 0.5$ siendo a y b los padres de j
 $k_{ii} = 0.5(1 + F_i)$, donde F_i es el coeficiente de consanguinidad del individuo i .

Individuos con bajos valores de media de parentesco poseen genes subrepresentados y por lo tanto son quienes tienen la prioridad a ser conservados. La estrategia a seguir debe ser por tanto minimizar la Mk. A pesar de ello, igual se debe distinguir ejemplares que puedan ser producto de entrecruzamiento de fundadores sub y sobrerrepresentados, ya que poseerán una Mk alta, pero también genes subrepresentados

CASOS ESTUDIADOS EN URUGUAY

Existen también programas computarizados como el Vortex que es una simulación Monte Carlo de los efectos que las fuerzas deterministas, así como eventos

estocásticos de tipo demográficos, ambientales y genéticos ejercen sobre poblaciones silvestres (Lacy, 1997). Modela la dinámica de las poblaciones en forma de eventos discretos, secuenciales, que ocurren según probabilidades que constituyen variables aleatorias, según las distribuciones especificadas por el usuario. Puede ser utilizado para optimizar recursos.

Por ejemplo en la colonia de hamadrias (*Papio hamadryas*) del Parque Lecocq se proyectaron diferentes escenarios combinando el número máximo de extracciones que el estudio genealógico sugería y suplementando con nuevos individuos, en los momentos adecuados para introducir variabilidad genética. A los efectos de reducir la media de parentesco, teniendo en cuenta la estructura social de los harenes, y considerando que ocurrirían 8 generaciones de hamadrias en 100 años, se consideró adecuado efectuar las suplementaciones cada 15 años, entre los años 4 y 100. Este modelo mostró que a pesar de incluir la depresión endogámica, la ocurrencia de una catástrofe y la extracción de 32 ejemplares se mantenía una heterocigosis de 91% y el 41% de los alelos iniciales. Incluso si se compara con un posible escenario donde no se realiza ningún manejo y se duplica la capacidad de carga (de 60 a 120) solamente se eleva en 1 % la heterocigosis observada. Esto significa que para mantener prácticamente el mismo valor de heterocigosis se debía duplicar los costos en cuanto a alojamiento y manutención. (Leizagoyen & González 2000).

En el caso de la población de Addax, en 1999 se comenzó con una relación N_e/N de 0,2 ($N = 12$) con una M_k de 0,285, logrando llegar en 7 años a una N_e/N de 0,6 ($N = 19$) con una M_k de 0,355. Debido a otras medidas de manejo tomadas se ha incrementado la sobrevivencia perinatal, por lo tanto todavía no se ha podido detectar una correlación entre consanguinidad y muerte perinatal. Si como se evidencia por el aumento de M_k (mayor del sugerido para la especie) es necesario la introducción de una nueva línea, así como próximo paso realizar un estudio de ADN para corroborar la heterocigocidad de la población.

La completa subdivisión de una población actúa manteniendo una variabilidad genética entre ellas más que dentro de ellas. Puede ser un método para mantener la variabilidad genética en poblaciones cautivas (Lande 1994). Pero esto requiere la disponibilidad de mayor espacio e instalaciones dentro de los zoológicos. En el caso de los

antílopes del P Lecocq se debió ampliar de 1 a 5 los potreros a ser utilizados por esta especie

CONCLUSIONES

El éxito reproductivo no garantiza que estemos haciendo bien las cosas en el esfuerzo de criar poblaciones amenazadas en cautiverio. No garantiza que estemos manteniendo la diversidad genética de la población, ya que lo que podemos estar haciendo es reproducir los mismos genes.

Esto deriva en la necesidad de realizar un plan de manejo utilizando un método analítico.

Estos programas pueden derivar en la necesidad de contar de mayor espacio y recursos, por lo tanto en cada zoológico debe evaluarse muy bien qué especie es capaz de mantener en las condiciones necesarias para tratar de retener la mayor variabilidad genética. De lo contrario es posible que en realidad podamos estar destruyendo lo que queremos construir al estar formando individuos incapaces de subsistir en el medio silvestre.

BIBLIOGRAFÍA

- BALLOU, J. 1994. Identifying Genetically Important Individuals for Management of Genetic Variation in Pedigreed Population Population Management for Survival & Recovery. Ballou J, Gilpin M Foose T (Ed) Columbia University Press NY.
- CASSINELLO, J. 2001. Relationship between coefficient of inbreeding and parasite burden in endangered gazelles. *Conservation Biology* 15:1171-1174.
- FALCONER, D. 1981. Introduction to Quantitative Genetics. New York, Longman.
- IUCN 2004. Red List of Threatened Species 2004. A global Species Assessment IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- IUDZG, CBSG IUCN / SSC 1993. The World Zoo Conservation Strategy : The Role of the Zoos and Aquaria of the World in Global Conservation.
- LACY, R. 1993. Impacts of inbreeding in natural and captive populations of vertebrates: Implications for conservation. *Perspectives in Biology and Medicine* 36: 480-495.

- LACY, R. 1994. Aplicación del Análisis de la Viabilidad de las Poblaciones en la recuperación de las especies en peligro de extinción y en el control de las pequeñas poblaciones. VORTEX Versión 7 user's manual A stochastic simulation of the extinction process UICN/SSC Apple Valley, Minnesota, USA.
- LACY, R. 1997. Aplicación del análisis de la Viabilidad de poblaciones en la recuperación de las especies en peligro de extinción y en el control de las pequeñas poblaciones *Vortex simulación estocástica del proceso de extinción Versión 7*, 63-79.
- LACY, R.; PETRIC, A. M. & WARNEKE, M. 1993. Inbreeding and outbreeding depression in captive populations of wild species. pp 352-374 N.W. Thornhill (ed.), *The Natural History of Inbreeding and Outbreeding*. University of Chicago Press.
- LANDE 1994. Breeding Plans for Small Population Based on the Dynamics of Quantitative Genetic Variance Management for Survival & Recovery Ballou J, Gilpin M Foose T (Ed) Columbia University Press NY.
- LEIZAGOYEN, C. & GONZALEZ, S. 2000 ¿Población en cautiverio = Diversidad Genética? Primer Premio Academia Nacional de Medicina Veterinaria del Uruguay Año 2000.
- O'BRIEN, S.J.; ROELKE, M.E.; MARKER, L.; NEWMAN, A.; WINKLER, C.A.; MELTZER, D.; COLLY, L.; EVERMANN, J.F.; BUSH, M. & WILDT, D.E. 1985. Genetic basis for species vulnerability in the cheetah. *Science* 227:1428-1434.
- O'BRIEN, S.J. 1987. Evidence for African origins of founders of the Asiatic lion species survival plan. *Zoo Biol.* 6: 99-116.
- PRINCEE, F. 1994. Low Intensity Genetic Management Population Management for Survival & Recovery Ballou J, Gilpin M Foose T (Ed) 124-154 Columbia University Press, NY.
- PRINCEE, F. 1996. EEP Questionnaire. F. Rietkerk, K. Brouwer and S. Smits, eds., EEP Yearbook 1995/1996 Proceedings of the 13th EEP Conference, Saumur 20-24 June 1996. pp 431-432. Amsterdam, EAZA Executive Office.
- RALLS, K. & BALLOU, J. 1983. Extinction: Lessons from zoos Genetic and Conservation: A reference for Managing Wild Animal and Plant Populations, 164-184.
- RAUP, D.M. 1991. Extinction: bad genes or bad luck?. New York: W. W. Norton & Company.
- SHAFFER, M.L. 1981. Minimum population sizes for species conservation. *BioScience* 31:131-134.
- SHOEMAKER, A.H. 1982. The effect of inbreeding and management on propagation of pedigree leopards *IZY* 22:198-206
- SLATIS H.M. 1960 An analysis of inbreeding in the European bison. *Genetics* 45: 285-287.
- SOULE, M.E. 1987. Introduction.. In M.E. Soulé, (ed.), *Viable populations for conservation*, pp.1-10. Cambridge: Cambridge University Press.
- WAZA 2005: Building a Future for Wildlife - The World Zoo and Aquarium Conservation Strategy. Peter Olney (Ed) WAZA Executive Office 3012, Bern, Switzerland.
- WILLIS, K. 1993. Genetic variation maintenance strategy. *CBSG News* Vol 4, N° 2 11.
- WRIGHT, S. 1931. Evolution in Mendelian populations. *Genetics* 16:97-159.