



IMAGEN

Veterinaria

traNsgénicos

genética

clonación

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
División de Educación Continua
Centro de Enseñanza Práctica e
Investigación en Producción y Salud Animal (CEPIPISA)

Invita al
1er Curso Internacional sobre

feromonas y

Bioestimulación Sexual

6 al 8 de febrero
de 2002

Sede: auditorio *Pablo Zierold Reyes*. FMVZ-UNAM.

Dirigido a: Profesionales y estudiantes de las áreas Médico- Biológicas.

Objetivo: Actualizar a los asistentes en el área de las feromonas y la bioestimulación sexual en animales domésticos y otras especies.

Cuota:

\$ 250.00 Estudiantes con credencial vigente

\$ 400.00 antes del 15 de diciembre 2001

\$ 450.00 después del 15 de diciembre 2001

Ponentes de:

México, Australia y Etrados Unidos

Dr. Luis A. Zarco Quintero (FMVZ, México)
Dr. Graeme B. Martin (UWA, Australia)
Dr. Carlos Galina Hidalgo (FMVZ, México)
Dr. Jaime Gallegos Sánchez (Colegio de Postgraduados, México)
Dr. Francisco Galindo Maldonado (FMVZ, México)
Dr. José A. Delgadillo (UAAAN, México)
Dr. Agustín Orihuela Trujillo (UAEM, México)
Dra. Dulce Ma. Brousset (FMVZ, México)
MC Lorenzo Álvarez Ramírez (FMVZ, México)



INFORMES E INSCRIPCIONES:
Difusión de Educación Continua FMVZ
UNAM
Facultad de Medicina Veterinaria y
Zootecnia
Edif. de Posgrado 1er. Piso. Ciudad
Universitaria
Circuito Exterior, Coyoacan, C.P.04510,
México, D.F.
Tels: 5622-58-51 y 53.
Tel. y fax: 5622-58-51
E-mail: decuat@cuauhtli.veterin.unam.mx.
<http://www.veterin.unam.mx/fmvz 2000/fmvzunam.htm>



La segunda mitad del siglo XX se caracterizó por un vertiginoso desarrollo científico y tecnológico.

Tras el impresionante desarrollo de la electrónica y de la física nuclear, ahora parece que toca el turno a la revolución biotecnológica. En febrero de 1997, un grupo de genetistas guiado por Ian Wilmut, del instituto Roslin en Escocia, publicó los resultados del experimento exitoso de clonación de una oveja (la popular Dolly), y a partir de entonces, la técnica de clonación en animales se hizo famosa, pero ya hace más de cuarenta años se estudiaba sobre ella. Los primeros que tuvieron éxito fueron los biólogos estadounidenses Robert Briggs y Thomas King que clonaron una rana en 1952.

Desde siempre el hombre ha ayudado a la mejora animal mediante una manipulación genética natural. Dolly es importante porque es un mamífero y porque el núcleo usado para «fecundar» al óvulo se tomó de una célula de glándula mamaria, o sea una célula somática adulta, pero en sentido estricto sólo demuestra que en esa célula se conservó toda la información genética. Además de contribuir a contestar la pregunta sobre la conservación o pérdida de la información genética no expresada en células diferenciadas, la clonación de mamíferos y otros animales domésticos, puede tener una utilidad práctica; de hecho, la clonación es un método establecido para la producción de plantas con características deseables, como resistencia a ciertas plagas y menores requerimientos de fertilizantes. Pero el éxito del experimento de Dolly ha despertado la preocupación general ante la posibilidad de la clonación de seres humanos, estimulada, y al mismo tiempo explotada, por el amarillismo con que este tipo de temas se maneja en ciertos medios de comunicación. Se recuerda la novela *Un mundo feliz*, de Aldous Huxley, en la que se producen individuos en serie para que sirvan como obreros en las fábricas; sin embargo, hoy no estamos más cerca de la posibilidad de la clonación humana que hace 30 años, cuando James Watson (descubridor, con Francis Crick, de la estructura del ADN), sentenció que si la tecnología biológica avanzaba lo suficiente para hacerla posible, el experimento fatalmente se haría, por lo que era tiempo de empezar a pensar en los beneficios y problemas derivados de ese acontecimiento.

La clonación humana ya existe y es tan antigua como la humanidad, pues los gemelos, los trillizos y demás hermanos idénticos (derivados de un sólo óvulo fecundado) no son otra cosa, y aunque tengan el mismo genoma y hasta se parezcan mucho físicamente, se trata de personas diferentes y en muchos casos hasta diametralmente opuestas. Esto se debe a que el individuo no está determinado sólo por su genoma, sino también por la suma de los efectos del ambiente en que vive y de las experiencias que tiene. La fantasía de Huxley se justifica sólo como licencia literaria.

Asimismo, el deseo de algunas empresas de producir plantas y animales transgénicos o clónicos y de patentarlos como si fueran meros «inventos», ha provocado una gran preocupación social, hasta el punto de generar alarma en la opinión pública por las posibles consecuencias medioambientales y sanitarias de la difusión incontrolada de estos organismos, así como por las interrogantes de carácter ético o moral que suscitan tales manipulaciones. Pero, después de un primer momento de oposición general, algunas voces han querido llamar la atención sobre la necesidad de garantizar la libertad de investigación y de no condenar el progreso. Es un hecho que las aplicaciones tecnológicas de los descubrimientos científicos deben hacerse para el bien común.

Respecto a esta controversia, el Comité de Expertos sobre Bioética y Clonación del Instituto de Bioética y Ciencias de la Salud de España menciona: «La historia de la clonación es un ejemplo paradigmático de cómo no deben hacerse afirmaciones categóricas en el campo de la ciencia. El conocimiento propio de las ciencias empíricas es siempre sintético o *a posteriori*, y en él las proposiciones, sobre todo cuando se universalizan, van más allá de la base empírica que las sustenta. Esto hace que las afirmaciones tengan siempre un cierto carácter de provisionalidad. El inferir precipitadamente conclusiones a partir de los datos disponibles ha sido el origen de graves errores científicos y de retrasos muy importantes en el desarrollo de técnicas y en el progreso del conocimiento».

Según algunos (principalmente líderes religiosos), no todo lo que la ciencia indica como posible debe ser llevado a cabo; no obstante, deben evitarse las expresiones de absoluto rechazo y condena o de absoluta aprobación. Éstos avances, son el resultado del uso de técnicas que, en sí, son neutras y que reciben su moralidad, fundamentalmente, de los fines a los que se destinen. La concepción de «bebés de probeta» hace algunos años causó conmoción y rechazo, sin embargo, es ahora algo completamente rutinario. Según la Organización para la Industria Biotecnológica, en Estados Unidos, en 1996 había 1,287 compañías que trabajaban en la biotecnología dando 118,000 puestos de trabajo, un 9 por ciento más que en 1995. Las ventas de los productos biotecnológicos alcanzaron 10,800 millones de dólares en 1996 (un 16 por ciento más que en 1995), los ingresos totales de estas compañías fueron de 14,600 millones de dólares estadounidenses al año. Actualmente, hay en el mercado más de 40 medicamentos fruto de la investigación biotecnológica, con los cuales se ha tratado ya a más de 100 millones de pacientes de padecimientos, como esclerosis múltiple, diabetes, varios tipos de cáncer, enfermedades cardíacas y muchas enfermedades infecciosas. Como vemos, los beneficios pueden ser muchos, tal vez la aplicación de estas tecnologías intranquilece a algunos; pero, como enfatiza Carlos Gershenson: «Tendrás que acostumbrarte. No hay nada que puedas hacer para detener la evolución de la ciencia».

Por tanto, se debe difundir información veraz y comprensible sobre todos aquellos avances científicos que generen inquietud y malestar en la sociedad. Las asociaciones científicas, academias y centros de educación superior e investigación tienen una especial responsabilidad en la creación de un clima de confianza por parte de un público cada vez más instruido. La comunidad científica debe contribuir a que el debate se mueva en la dirección de una mayor complejidad, diferenciación y flexibilización de las posiciones. En este sentido hemos preparado este número acerca de algunas técnicas modernas de reproducción y genética que se utilizan en la actualidad en la práctica de la medicina veterinaria, esperamos que la información sea de utilidad a nuestros lectores.

Laura Elena Hernández Diosdado

Génesis, capítulo 11, versículo 6:

«Pues ahora no hay nada que tengan pensado hacer que no les sea posible lograr».

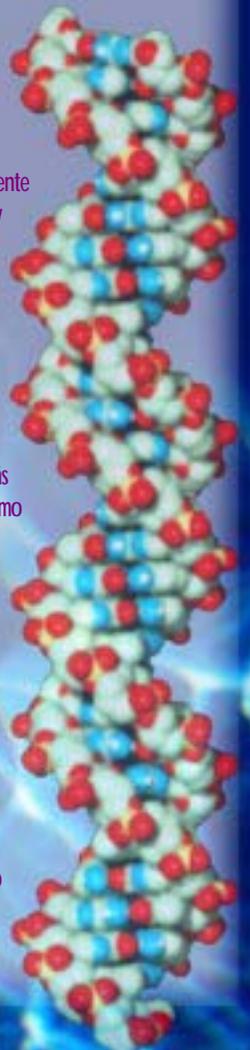




IMAGEN Veterinaria



Directora técnica y editora

Laura Elena Hernández Diosdado

Presidenta del comité editorial

Norma Silvia Pérez Gallardo

Coordinadora editorial

Alicia Elena Olivera Ayub

Corrección de estilo

Rodrigo Rocha Ruiz
Moisés Villaseñor Talavera

Asistencia editorial

Elena Ramos Juárez
Ana Lilia Enríquez Díaz

Comité editorial

Adriana Correa Benítez
Ernesto Guzmán Novoa
Germán Muñoz Córdova
Fernando Constantino Casas
Mario Garduño Lugo
Carlos García Alcaraz
Miguel Ángel Sierra Bernal
Marco A. Herradora Lozano
Rafael Olea Pérez
Ma. Pilar Castañeda Serrano
Bernardo Lozano Dubernard
José A. Quintana López
Eduardo Posadas Manzano
Arturo Olguín y Bernal
Joel Hernández Cerón
Aldo Alberti Navarro
Alicia Soberón Mobarak
Alfredo Cortés Arcos
Miguel A. Martínez Castillo
Eduardo Tena Betancurt
Ramiro Calderón Villa
León Ramírez López
Carlos Aceves Rubio
Carlos Godínez Reyes

Ma. de los Angeles Roa Riol
Rafael Cuadros
Luis Palazuelos Platas
Jesús Estudillo López
Jorge A. Alvarez León
Rosa Berta Angulo Mejorada
Antonio Ortiz Hernández
Raúl Armendáriz Félix
Eduardo Téllez y Reyes Retana
Graciela Tapia Pérez
Santiago Aja Guardiola
Miguel Ángel Márquez
Octavio Villanueva
Luis Fernández Zorrilla
Jorge Ávila García
Carlos López Gómez
Germán Valero Elizondo
Ernesto Ávila González
Luis Núñez Ochoa
Asaad Heneidi Zeckua
Alberto Parás

Diseño

Enrique Basurto Argueta

Formación

Alma Angélica Chávez Rodríguez

Ilustración

Enrique Basurto Argueta
Hugo Miranda Ruíz

Fotografía

Carlos González Flores

Diseño de portada

Enrique Basurto Argueta

Suscripciones

Edgar R. Mendoza Ruiz

Asistente

Ramsés Enríquez Mendoza
Miguel I. Rodríguez Ochoa

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. JUAN RAMÓN DE LA FUENTE
Rector

Lic. ENRIQUE DEL VAL BLANCO
Secretario General

Dra. ARCELIA QUINTANA ADRIANO
Abogada General

Dr. JOSÉ NARRO ROBLES
**Coordinador General
de la Reforma Universitaria**

Lic. NÉSTOR MARTÍNEZ CRISTO
Director General de Información

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

Dr. LUIS ALBERTO ZARCO QUINTERO
Director

Dr. JORGE CÁRDENAS LARA
Secretario General

MVZ MPA ALBERTO BALCÁZAR S.
Secretario de Comunicación

IMAGEN **Veterinaria**, de aparición trimestral, es publicada por la Secretaría de Comunicación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM. Av. Universidad 3000, Ciudad Universitaria, CP 04510, Coyoacán, DF, México. Volumen 1, Año1, Número 5. Editora responsable: Laura Elena Hernández Diosdado. Distribuida por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Certificado de licitud de título 11043. Certificado de contenido 7679. Certificado de reserva al uso exclusivo del título con número de reserva 04-2000-032213591200-102 otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, SEP. Registro de ISSN 1405-9002. Franqueo en trámite ante SEPOMEX. **El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores.**

Índice

<i>Herencia y zootecnia en los siglos XIX y XX: ¿ese afán de que los hijos sean mejores que los padres!</i>	4
MIREIA ARTÍS MERCADET	
<i>Clonación y reprogramación nuclear</i>	16
CARLOS G. GUTIÉRREZ AGUILAR, ARANTZATZÚ LASSALA IRUESTE	
<i>El genoma del perro</i>	24
JOSÉ MANUEL BERRUECOS V.	
<i>La transferencia de embriones: alternativa para la producción de carne caprina</i>	28
YESMÍN MARÍA DOMÍNGUEZ HERNÁNDEZ, RODOLFO RODRÍGUEZ MALTOS, JUAN ANTONIO RODRÍGUEZ GARCÍA	
<i>La mejora genética de animales hoy ¿abriendo la caja de Pandora o la cueva de Alí Baba?</i>	32
HUGO H. MONTALDO VALDENEGRO	
<i>Transferencia de genes en animales domésticos</i>	39
ROGELIO A. ALONSO MORALES	
<i>Fertilización in vitro y su aplicación en la producción de cerdos transgénicos</i>	42
YVONNE C. DUCOLOMB, SALVADOR ROMO Y MIGUEL BETANCOURT	
<i>Los padres de la Genética</i>	48
<i>Actualidades agropecuarias</i>	51
ISABEL OROPEZA	
<i>Lienzo en blanco</i>	52
ENRIQUE BASURTO ARGUETA	
<i>El palomar</i>	57
<i>Red veterinaria</i>	58
<i>Libros</i>	59
<i>Acontecimientos próximos</i>	60



Mireia Artís Mercadet

Mireia Artís Mercadet es licenciada en Biología de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Posgraduada en genética molecular en París, en Filosofía de la Ciencia en la Universidad Autónoma Metropolitana y en Historia de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Barcelona. Es hoy investigadora titular del Departamento de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, en un proyecto de Historia de la Genética. Su interés fundamental, como muestra su trayectoria académica y su interés por la docencia y la divulgación científica, son las relaciones de la ciencia con la sociedad.

martis@campus.uoc.es

Herencia y zootecnia en los siglos XIX y XX: ¡ese afán de que los hijos sean mejores que los padres!

Si yo fuera joven, e incluso a mi edad, si me sintiera con más fuerza, iría a inscribirme como alumno de la escuela de Alfort.

Las lecturas de las obras de veterinaria me encienden la cabeza.

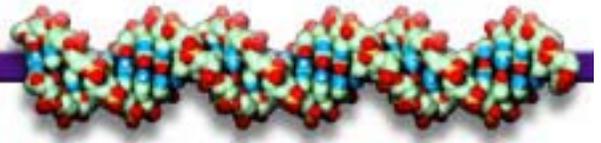
Louis Pasteur

Carta a H. Bouley, director de la Escuela Veterinaria de Alfort. 7 de septiembre de 1877.

INTRODUCCIÓN

Los libros de texto señalan a 1900 como el año de nacimiento del estudio sistemático de la hoy llamada **Genética**, entonces conocida o como **Herencia**, o como **transmisión de caracteres**, o como **fijación de la variación**, o como **procesos hereditarios**. La adopción de la palabra ‘genética’ para referirse a los procesos hereditarios es en realidad muy reciente. Con el “redescubrimiento” de **las leyes de Mendel** en 1900, el **mendelismo** se adoptó como estrategia de investigación para exponer las regularidades básicas en la transmisión de los caracteres de padres a hijos.

La adopción del mendelismo restringió, reorganizó y alteró la naturaleza misma de las preguntas acerca de la herencia biológica. Ese cambio radical lo reforzó el hecho de que la herencia era un concepto clave en el marco teórico que Darwin estableció para explicar la transformación de una especie en otra. El mendelismo, sin embargo, no encajaba del todo dentro de las propuestas darwinianas, y durante los primeros cuarenta años del siglo XX, mendelismo y darwinismo fueron los protagonistas de una batalla campal



que culminó en la síntesis de ambas tendencias dentro de una misma red teórica. Este proceso, a veces espectacular, provocó una distorsión en la manera como los historiadores de la Biología han tratado a la historia de la Genética. Y es comprensible: la primera impresión de las cosas siempre es incompleta y, en gran número de casos, su enunciado –con más elementos de juicio– acaba siendo modificado, corregido, ampliado o volteado de cabeza. Y es que un acontecimiento –cualquier acontecimiento–, es un hecho de complejidad profunda, es un hilamiento, ensañamiento, de motivos y de tropiezos, de entusiasmos y de resistencias, de influencias y circunstancias de todos colores, de pasividades y de desánimos. Por eso, cuando un primer vistazo hace decir que la genética empezó en el año 1900, “más vale no hacer mucho caso, más vale no acabárselo de creer”.

Hasta ahora, los historiadores de la Genética habían enfocado su atención en el desarrollo de la discusión en torno de algunos temas centrales, como la transmisión o la no-transmisión de los caracteres adquiridos; los nombres que aparecen con mayor frecuencia como principales contribuyentes de la era ‘pregenética’ son los de Lamarck, Darwin, Mendel, Galton y Weissman. Se mencionan, por otro lado, escritores anteriores, como Maupertuis; pero solamente como ejemplos de pensadores que habían anticipado algunas ideas que después se volverían cruciales para el darwinismo y la genética.

El trabajo reciente de varios historiadores ha ayudado a cambiar nuestra visión de la manera en que el concepto de herencia biológica y las explicaciones del proceso de transmisión se construyeron. Ahora percibimos que la edificación fue lenta y laboriosa, y alcanzó una primera etapa alrededor de 1850, cuando, en el trabajo publicado por Prosper Lucas intitulado: *Traté philosophique et physiologique de l'hérédité naturelle dans les états de santé et de maladie du système nerveux*, se

reveló la necesidad de contar con una teoría de la herencia rigurosamente establecida. Esta necesidad se había manifestado en la medicina, pero inquietaba igualmente a naturalistas, zoólogos, botánicos, hibridadores y ganaderos. Así, durante la segunda mitad del siglo XIX, una rica actividad experimental y teórica se enfocó a la construcción de una explicación sobre la manera de cómo funciona la transmisión de los caracteres de padres a hijos.

Hoy podemos entrever que en esta construcción intervinieron varias tradiciones de investigación independientes. Las que hasta ahora parecen más claras son tres:

- ▶ La tradición de los estudiosos de la medicina, basada en el materialismo del Siglo de las Luces y centrada alrededor de una pregunta general: ¿en qué medida las características corporales y morales de los padres son la causa de las características corporales y morales de los hijos? Los estudios más recientes indican que el concepto de herencia biológica adquirió independencia dentro de la medicina francesa, cuando el objetivo contestó una pregunta más concreta: ¿son hereditarias las enfermedades mentales?
- ▶ La segunda tradición que contribuyó al nacimiento del concepto actual de herencia biológica fue la de los hibridadores de plantas, que empezó con Linneo y dio origen al trabajo de Mendel.
- ▶ Finalmente, una tercera práctica influyó en el proceso de construcción de la Genética: la ligada a los criadores de animales, que tenía como principal objetivo controlar las características de los animales domésticos, y sentían la necesidad de que se establecieran leyes seguras sobre la transmisión de los caracteres que ayudaran a hacer más fácil su difícil tarea. Los conceptos prácticos sobre la herencia que los ganaderos han tenido en diferentes

épocas y la influencia que los descubrimientos de naturalistas y biólogos han adquirido sobre sus concepciones y prácticas apenas empiezan a estudiarse. Sabemos que esta tradición ganadera influyó profundamente en Darwin, quien por visitas, entrevistas y cuestionarios, trató de recoger la experiencia de los hibridadores de plantas y de los criadores de animales que acumularan una gran cantidad de datos acerca de la variación, la transmisión, la generación y la reproducción. Darwin estaba convencido que tanto la comunidad de hibridadores de plantas como la comunidad de criadores de animales eran fuente de información que se podía aplicar al origen de las especies en la naturaleza.

El hecho de que Darwin fuera incapaz de encontrar un solo tratado sobre la domesticación de los animales indica claramente la distancia que separaba a los zoólogos de los ganaderos. Cuando Huxley le pidió información sobre la hibridación de los seres vivos, Darwin recomendó varios trabajos importantes: los de Gärtner y de Kölreuter, sobre la hibridación de plantas; pero lamentó que la situación en relación con animales fuera muy distinta: “no hay ningún resumen en el cual uno pueda confiar —le decía— los hechos tienen que ser colectados de fuentes originales”. Darwin sabía, sin embargo, que la experiencia de los ganaderos, aunque no estuviera organizada en tratados escritos, valía mucho. Y a pesar de que los naturalistas miraran el mundo desde una perspectiva diferente a la de los agricultores y ganaderos, Darwin consideraba imprescindible establecer la relación entre las ciencias naturales y las artes aplicadas de hibridadores y criadores. Y lo consiguió por medio de cartas de contactos personales y de cuestionarios.

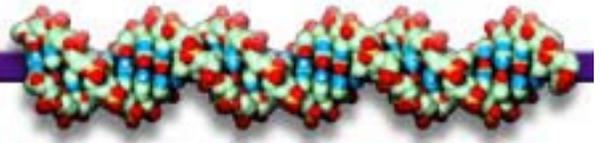
En el transcurso de esta búsqueda, Darwin descubrió que quienes se dedicaban a la reproducción de animales

domésticos carecían de trabajos teóricos orientados hacia el concepto de herencia. Solamente se habían sistematizado algunos patrones y algunas regularidades en relación con las semejanzas y las variaciones, y esto se utilizaba para propósitos prácticos. Después de la segunda mitad del siglo XIX, en Francia, se publicaron los primeros tratados de Zootecnia, cuyos autores eran los profesores de las recientemente establecidas escuelas oficiales de veterinaria y de agricultura. En ellos se discuten las explicaciones que se habían dado a las observaciones de la transmisión y de la no-transmisión de cualidades y defectos de los animales domésticos. Asimismo, se intenta convencer al lector de la existencia de algunos mecanismos y leyes de la herencia, mediante la descripción de casos concretos relatados en la literatura o con base en experiencias propias del autor del tratado en cuestión.

El ensayo que presentamos es un intento de recoger —mediante un ejemplo concreto como hilo conductor—, algunas de estas sistematizaciones, explicaciones y leyes en periodos determinados de los siglos XIX y XX, y de indicar, como una primera aproximación, la influencia que han tenido los descubrimientos científicos en las concepciones y las prácticas de los ganaderos.

Con la selección de cuatro fechas concretas, trataremos de hacer ver cómo cambiaron las explicaciones que los ganaderos han dado a las observaciones en torno a la herencia, para sus finalidades prácticas y económicas. Lo haremos imaginando que una historia real —la aparición inesperada de un borrego con lana sedosa en un ganado de borregos merinos, y los esfuerzos del dueño del ganado por reproducir esa característica— pasa en diferentes épocas:

- ▶ En 1828, cuando sucedió realmente.
- ▶ En 1877, cuando apareció, en Francia, uno de



los tratados generales de zootecnia más leídos, tanto en ese país como en el extranjero, escrito por el profesor André Sanson.

- ▶ En 1922, con Pere Màrtir Rossell y Vilà.
- ▶ En 1953, cuando las leyes de Mendel empezaban a dar resultado.

Transportémonos, pues, para empezar, al año 1828.

▶ **Mauchamp (Pas de Calais), 1828**

Había una vez un corderillo de lana sedosa. Nació en 1827, cerca de Mauchamp, Francia (caso descrito por Yvart y citado por Sanson). Su mamá no estaba orgullosa de él, porque, además de tener la lana diferente a la suya y a la de todos sus hermanos, era enfermizo y flacucho. Para el señor Graux; sin embargo, dueño del ganado, y quien vivía de la venta de la lana de su ganado, el corderito sedoso era muy atractivo. Lo cuidó con especial atención para poderlo casar pronto. Quería ver si los hijos engendrados presentaren también lana sedosa. Al año, en 1929, lo acopló con varias ovejas, bonitas y robustas, aunque de lana como el resto del ganado. Después de un año, en 1830, de todas las ovejas que había podido fecundar, solamente dos tuvieron corderos de lana sedosa. Los dos corderos eran de sexo diferente. En 1831 nacieron, entre los corderos procreados por el borrego, cinco sedosos: cuatro machos y una hembra. A partir de 1833, el número de corderos machos nacidos con lana sedosa fue suficiente para fecundar a todas las madres del ganado, incluso, claro está, a las de lana sedosa. Del acoplamiento de los borregos con sus hermanas y con sus hijas nacieron corderos de lana sedosa.

Los corderos obtenidos se separaban en dos categorías. La mayoría había conservado la lana de la raza merino normal, y una pequeña cantidad presentaba el vello completamente sedoso. Con el tiempo, la proporción aumentó, aunque de manera

tan lenta que de 153 corderos nacidos en 1848, todavía había 22 con la lana de los merinos normales. Desde el principio, se pudo observar que del acoplamiento de un borrego sedoso con una oveja sedosa, siempre nacía un cordero sedoso. La causa de la lentitud es que no se trataba únicamente de propagar la lana sedosa, sino que, al mismo tiempo, se tenían que corregir los efectos de la conformación viciosa y de la constitución enfermiza del primer individuo que la había presentado. Se necesitaba reproducir sólo los descendientes sedosos que no heredaron la mala constitución. Las eliminaciones necesarias fueron, pues, numerosas; pero finalmente, todo el ganado de Mauchamp estaba constituido por animales sedosos notablemente vigorosos y perfectamente saludables.

¿Cómo habrían explicado este proceso de formación del ganado de Mauchamp los profesores de zootecnia de la Escuela Nacional de Grignon? Vayamos a la época en la que escribían sus primeros tratados.

▶ **Andre Sanson, 1877**

En el Tratado de Zootecnia del profesor más reconocido durante los años setenta del siglo antepasado, André Sanson, especifica que “la **doctrina zootécnica** es una coordinación científica de nociones obtenidas de la economía nacional y política, de la zoología general, de la anatomía y de la fisiología experimental, en vista a la explotación industrial de los animales”. Y para definir a los animales transcribe las palabras de Baudement, el primer profesor del *Institut National Agronomique*, fundado en París hacia 1850: “para la Zootecnia los animales domésticos son máquinas, y no en la acepción figurada del término, sino en su acepción más rigurosa empleada en la mecánica y en la industria.(...) son máquinas que dan servicios y productos”.

Justamente el primer capítulo del segundo volumen del tratado está dedicado a las leyes de la herencia. Se

describe ahí la **herencia individual**, la **herencia sexual**, la **influencia respectiva de los sexos**, la **doctrina de la infección de la madre**, la **consanguinidad**, el **refrescamiento de la sangre**, el **atavismo**; además se explican varias leyes: la **ley de reversión** y la **ley de los semejantes**.

Según estas leyes y mecanismos, el corderito sedoso había aparecido a causa de la ley de reversión, que establece que “en algunos casos relativamente raros, un descendiente es, en alguna de sus propiedades, más parecido a uno de sus abuelos o a alguno de sus antepasados muy lejanos, que a sus descendientes directos. Se dice entonces que ha hecho un salto hacia atrás o que hay atavismo.”

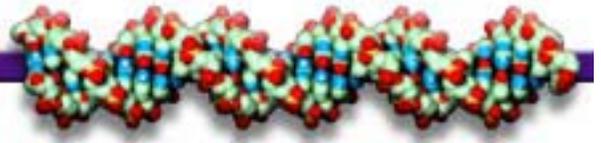
Lo que pasó después del nacimiento del cordero sedoso, la transmisión de la cualidad sedosa, se explicaba por la ley de los semejantes, que dice: “los semejantes engendran su semejante”. Para Sanson, el ejemplo del ganado de Mauchamp constituía una demostración completa de la ley de los semejantes desde todos los puntos de vista. En el sentido de la fisiología normal y en el de la fisiología patológica. “Bajo la influencia de la ley de los semejantes, se propagaron tanto las cosas útiles como las desventajas, y ella misma remedió el mal que había producido”. La lana “de un destello sedoso y débilmente ondulado” se manifestó, accidentalmente, en un solo individuo macho, y se propagó por herencia gracias al cuidado que el propietario del ganado tuvo al emplear este individuo y a su descendencia para la reproducción.

Que en los primeros acoplamientos la mayoría de los hijos, sedosos o no, del cordero fueran hembras, era debido a la **ley de la herencia sexual** o influencia del sexo, que establece que “aquel de los dos individuos acoplados que, en el momento del acoplamiento es, por su edad relativa o por cualquier otro motivo en el estado constitucional, el mejor o el más vigoroso,

transmite su sexo al producto”. Por tanto, en el caso del cordero sedoso, en sus primeros acoplamientos la potencia materna tenía que prevalecer sobre la paterna, según la ley de la herencia sexual, ya que la hembra era mucho más robusta que el macho. Que al principio solamente unos cuantos de los descendientes fueran sedosos se explicaba porque había **herencia unilateral**: sólo uno de los dos individuos portaba el carácter que Graux quería fijar. Desde el momento en que la herencia se volvió bilateral, es decir, que los dos sexos portaban lana sedosa, la transmisión se mostró infalible.

La conclusión de Sanson era que la aplicación de la ley de los semejantes ofrecía, en la práctica, un medio para determinar, por adelantado y con absoluta seguridad, los efectos de la herencia cuando se trataba de transmitir a la descendencia un carácter aparecido accidentalmente. Admitía también que el éxito de Graux se debía a la aplicación de otra de las leyes naturales de la herencia: la de la consanguinidad.

“Un prejuicio antiquísimo y muy generalizado — decía Sanson—, atribuye a la consanguinidad de los reproductores una influencia perjudicial a la constitución del producto de su acoplamiento. Pero (...) nuestras razas más robustas, que viven en ganados de pastoreo, se reproducen todas en consanguinidad desde tiempos más remotos. Toda cualidad o atributo transmisible que se manifiesta en un momento dado en uno de los miembros de la familia, pronto se vuelve fatalmente hereditario, cuando se reproduce en consanguinidad y cuando este miembro de la familia, por cualquier circunstancia, no ha sido eliminado. Esto pasa a partir del momento en que la cualidad o el atributo se transmite a dos de sus descendientes por lo menos, los cuales se acoplan entre ellos”. Al cabo de pocos años, Graux había acoplado solamente individuos de la misma familia y, por tanto, todos consanguíneos.



No obstante, Sanson sabía que no era tan fácil explicar las observaciones de los fenómenos hereditarios, por lo que la introducción del capítulo es una lamentación: “si nuestros conocimientos de los fenómenos fisiológicos de la reproducción fueran más avanzados; si supiéramos, por ejemplo, la parte que corresponde, respectivamente, en el desarrollo del embrión a cada uno de los dos elementos, el óvulo y la célula espermática (...) podríamos establecer, sin duda, una teoría completa de las diversas formas de la herencia que acabamos de enumerar. Pero en el estado actual de la ciencia, tenemos, en relación con estas cuestiones sólo hipótesis más o menos plausibles, fundamentadas en hechos determinados. Para deducir las leyes de la heredabilidad, nos contentamos con los resultados de la observación pura, solamente a veces verificados con los datos de la experimentación”.

Estas son las explicaciones que el profesor de zoología y de zootecnia de la *École Nationale de Grignon* habría dado a Graux, en el año 1877. ¿Qué explicaciones se hubieran dado en las primeras décadas del siglo XX, cuando empezaban a reconocerse, en las instituciones donde se enseñaba zootecnia y se investigaban en temas relacionados con la producción animal, y a introducirse los conceptos de Gregor Mendel, el padre de la Genética moderna?

Transportémonos ahora a Barcelona y al año 1922.

► Barcelona, 1922

Para repartirlo gratuitamente a los campesinos, la Mancomunitat de Catalunya publicó un librito titulado *La reproducció i l'herència en el bestiar*. Su autor es el veterinario Pere Màrtir Rossell y Vilà, primer profesor de zootecnia de la *Escola Superior d'Agricultura de Barcelona* e iniciador del estudio profundo de la ganadería en Cataluña. Rossell y Vilà había invitado, en 1918, a Paul Dechambre —profesor de zootecnia en la *École Vétérinaire de Alfort* y sucesor

de Sanson en la *École Nationale d'Agriculture de Grignon*— a dar un cursillo: «La herencia y sus aplicaciones a la producción animal». El librito de Rossell y Vilà estaba inspirado en estas lecciones, e incluía, además, aportaciones teóricas originales del autor referentes al atavismo. Si Graux hubiese consultado al profesor Rossell, las explicaciones y los consejos de éste seguramente habrían mencionado los siguientes puntos:

El corderito sedoso no podría ser un caso típico de atavismo (aparición de una característica ancestral). Para Rossell y Vilà, partidario del **evolucionismo**, el atavismo no constituía un salto hacia atrás, ni una retrogradación, como lo era para Sanson. Su teoría, a la cual llamó **atavismo serial**, se basaba en la hipótesis de Weissman. Según ésta, el corto desarrollo embrionario —la **ontogenia**— recapitula el largo desarrollo evolutivo —la **filogenia**—. En palabras de Rossell: “el individuo repite todos sus antepasados, y añade otra unidad a la suma de generaciones, es decir que repite todos los ascendientes, su padre inclusive”. Para Rossell y Vilà el atavismo existe, pues el individuo puede repetir todos sus ascendientes, o bien no repetirlos todos y quedarse a medio camino. Cuando no los repite todos, vive, y es normal, hay atavismo. Así, el atavismo no sería, como piensan muchos, un salto hacia atrás, una retrogradación, sino, más bien, una parada en la evolución. Las causas del atavismo radicarían en fenómenos de nutrición: la repetición se quedaría tanto más atrás cuanto más deficiente fuera la alimentación. Una buena alimentación garantiza, según Rossell, el nacimiento de un individuo no atávico.

Según esta concepción, la explicación al ganado sedoso hallado en Mauchamp no podía encontrarse en el atavismo, ya que el cuidado y la buena nutrición de los descendientes no solamente hicieron

desaparecer el carácter sedoso de su lana sino que aun lo fijaron.

¿Qué explicación daba entonces el primer profesor de zootecnia de Cataluña al logro de Graux? Rossell y Vilà decía: “en cualquier lugar donde haya existido una raza, y los animales o sus productos conserven uno o más de sus caracteres raciales, es factible, mediante la utilización o provocación de fenómenos hereditarios, reconstruir la raza perdida”. Lo que hizo Graux, fue reconstruir una raza.

Pero repasemos qué había pasado de 1877 a 1922. ¿Qué había producido hasta entonces la intensa actividad investigadora alrededor de los fenómenos hereditarios que se había disparado durante aquellos cincuenta años? Por un lado, numerosos estudios habían corroborado las leyes de Mendel en muchas especies vegetales y en algunas especies animales como la mosca y la rata. Por otro lado, y utilizando como material de experimentación a la mosca de la fruta, Morgan y su equipo habían puesto un punto final a la controversia que debatía si el material hereditario se localizaba en el núcleo de la célula o en el citoplasma. Sería la **teoría cromosómica de la herencia**.

Todos estos avances estaban reflejados en el librito que Rossell y Vilà escribió para los campesinos de Cataluña. Una vez presentados los experimentos de Mendel, Rossell se preguntó si las regularidades descubiertas en plantas de chícharo eran aplicables a las especies animales. Hizo entonces un repaso de los estudios hechos en equinos y bovinos, y coincidió con los autores de los experimentos en que las leyes de Mendel no son aplicables a los animales domésticos, aunque “todavía no se puede afirmar nada y los experimentos deben continuarse”. Al igual que los zootecnistas contemporáneos suyos, consideraba que, si bien el mendelismo ha dado a la investigación de los problemas de la herencia una actividad

insospechada; por otro lado, “la herencia mendeliana es una interpretación sin valor práctico, ya que no permite prever el resultado de uniones no experimentadas”.

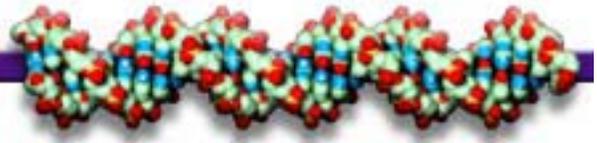
Para que las leyes de Mendel ayudaran a fijar a voluntad las variaciones era necesario hacer estudios estadísticos de la descendencia así como lo habían hecho Mendel con los chícharos y Morgan con las moscas; sin embargo, el volumen corporal, el tiempo de reproducción y el costo de los animales domésticos no lo permitían, ni en Cataluña ni en muchas otras partes. Tendrían que pasar treinta años para que los zootecnistas compilaran suficiente información y la pudieran interpretar estadísticamente. Es así que llegamos a los años cincuenta.

► **Grignon, 1953.**

Vayamos ahora a la Escuela de Grignon, donde los profesores de zootecnia del siglo XIX explicaron la experiencia de Graux evocando las leyes de reversión, el atavismo y la influencia del sexo.

Si Graux hubiera vivido a mediados del siglo XX, los profesores de zootecnia no le habrían hablado de procesos hereditarios, sino de Genética. Le habrían dicho enfáticamente: “la Genética —que es la ciencia que estudia la herencia— ha demostrado, desde hace cincuenta años, que no hay herencia de cualidades sino de **genes**. ¡La confusión de una con la otra es monstruosa!”.

Para los profesores de los años cincuenta, la nueva disciplina debía proporcionar a la ganadería las técnicas científicas que permitieran mejorar la producción. “Pensamos —decían a los alumnos— que se han de reemplazar los métodos ciegos que se emplean actualmente por los métodos científicos de la **genética aplicada**. Aunque la genética aplicada descansa sobre la **genética experimental** que llevan a cabo los biólogos tanto en los laboratorios como en



los campos de experimentación, también difiere de ella profundamente. La genética experimental puede definir perfectamente y controlar las condiciones de los experimentos; por tanto, puede seleccionar los genes y observar su acción. La genética aplicada tiene que trabajar con genes reguladores de funciones fisiológicas complejas, éstos son difíciles de separar del conjunto de características hereditarias que conforman el **genotipo**. Para los ganaderos el problema importante no es identificar los genes sino maniobrarlos mediante métodos correctos. Por ello se decía que «la ganadería científica no debe hacer el análisis genético de una población sino determinar los métodos de reproducción que permitan obtener las combinaciones genéticas más favorables».

La ganadería científica de los años cincuenta debía convencer haciendo uso de algunas ideas que, para la práctica ganadera, resultaban nuevas. Enumeremos algunas:

- a) La herencia es la transmisión de los genes, no de las cualidades. Las cualidades son dependientes de la interacción gen-medio ambiente.
- b) Hay diferencia entre el fenotipo (el aspecto de un individuo) y el genotipo (el conjunto de sus genes). El progreso de un ganado depende únicamente del conocimiento de su genotipo, y la única manera de apreciar el genotipo de un individuo es mediante el estudio de su descendencia.
- c) La importancia de la variación es fundamental, ya que no se puede hacer progresar al ganado más de lo que éste varía. Mientras más grande sea la variación, más grande será la posibilidad de mejorar un ganado, con la condición de que el ganadero tenga claro que hay dos tipos de variación: la que depende de los factores externos (fenotipo no transmisible), y la debida a factores

internos (genotipo transmisible). Solamente la variación genotípica interesa para mejorar la raza.

- d) La acción humana es limitada; la selección sólo es posible en presencia de variabilidad genotípica. Cuando un genotipo se vuelve puro, el mejoramiento no es posible si no hay cruzamiento con otra raza, o bien un cambio accidental en el genotipo: una mutación.

La Zootecnia, explican, ha adoptado muy lentamente los progresos de la Genética; la agricultura, por su parte, empezó a armonizar sus métodos con los de la Genética desde las primeras décadas del siglo pasado. Las razones de esta diferencia son diversas:

- 1) En el cultivo de los vegetales hay una separación entre la 'producción' y la 'reproducción'. Profesionales experimentados pueden dedicarse a seleccionar y 'reproducir' las semillas que posteriormente venderán a los agricultores, es decir, a los encargados de la 'producción' a gran escala.
- 2) La selección de las plantas ha podido acercarse al ideal genético gracias al rigor de la selección. Los genotipos inferiores se han suprimido sin dificultad porque el valor del individuo es insignificante en comparación con el valor de la raza o la variedad que interesa. Un grano de trigo no tiene ningún valor, y una semilla con genotipo de valor medio no se empleará para producir descendencia. ¡Qué diferencia entre este grano de trigo y un semental de valor medio que si bien no contribuye a mejorar la raza, vale miles de francos, y por ello su propietario no se atreverá a retirarlo de la reproducción!.

Así explicaban los profesores de Grignon el origen económico del abismo existente entre los métodos de reproducción de los vegetales y los

métodos de reproducción de los animales. Le atribuían también una causa psicológica: para un campesino que posee algunos caballos y algunas vacas, éstos por sí mismos son mucho más importantes que la raza a la que pertenecen. El ganadero piensa en individuos y sus cualidades individuales mientras que el cultivador piensa en enormes grupos de individuos (un campo de trigo, un campo de girasoles). Para los métodos



de reproducción esta diferencia es fundamental. Los responsables de los programas zootécnicos preveían que la selección genotípica sería adoptada primeramente para los puercos y las aves de corral, debido a que las probabilidades de que aceptaran como método de reproducción a la selección genotípica serían inversamente proporcionales al valor medio del individuo de la especie considerada; es decir, mínimas.

- 3) Los vegetales se reproducen mucho más rápidamente que los animales domésticos. La mayoría de las plantas se reproducen una vez cada año, algunas incluso dos veces por año, pero eso es suficiente para multiplicarse por diez, por cien o por mil. En cambio, en los animales son

necesarios dos o tres años para conseguir una nueva generación, y la población no se duplica sino hasta después de cinco o seis años.

- 4) Los objetivos del cultivo de plantas son simples y claros, pero con los animales los objetivos son complejos y a menudo imprecisos. Se animaba a los ganaderos a definir claramente los objetivos económicamente útiles. Así, la Genética podría ayudarlos a alcanzar sus objetivos.
- 5) La diferencia en las condiciones de trabajo entre agricultores y ganaderos explicaba la diferencia en los resultados que habían obtenido unos y otros. Pues para conseguir la selección genotípica se necesitaba tiempo, paciencia y organizaciones humanas complejas que permitieran una acción conjunta.

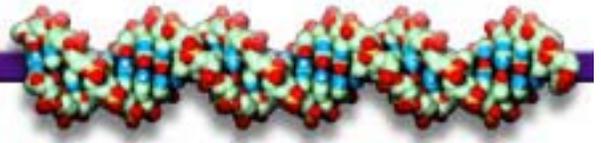
¿Qué habrían aconsejado a Graux los profesores de la Escuela de Grignon durante los años cincuenta? Tal vez que aplicara la...

PRUEBA DE LA DESCENDENCIA

Ésta permite determinar el potencial hereditario de un individuo mediante el estudio de su descendencia: así se hubiera explicado que eso era posible gracias a que cada descendiente 'recibe' la mitad de los genes de su padre. Si se conoce a diferentes descendientes de un padre, se puede determinar su genotipo para ciertas características. Así es posible conocer el valor real de los reproductores: por la comparación de los descendientes de cada individuo puesto a prueba.

El número de descendientes que se debe examinar depende de consideraciones genéticas: la frecuencia esperada de los heterocigóticos y la probabilidad de aparición de los recesivos en los acoplamientos entre dos heterocigóticos.

Se insistía, con la intención de introducir una nueva forma de ver las cosas, en que el macho era



sólo un distribuidor de espermatozoides. Por tanto, lo que debía contar era la calidad de los espermatozoides, y la genética enseñaba que el espermatozoide es portador del patrimonio hereditario del individuo que lo produjo. Todo el resto del macho, su aspecto, sus caracteres individuales, sus cualidades, no han de interesar, pues no se podrá saber si son transmisibles sino hasta después de analizar la descendencia.

La prueba de la descendencia se proponía como el mejor método para apreciar el valor real de los reproductores, con el objeto de producir descendientes útiles.

La condición esencial para la validez de la prueba de descendencia era no eliminar, a la hora de contabilizar, a los animales considerados inferiores. Para calcular la frecuencia de homocigóticos y de heterocigóticos, todos los descendientes son importantes.

La psicología de los ganaderos ante estas propuestas tenía que cambiar con el fin de habituarse a enfrentar problemas diferentes. Se insistía en que a pesar de los diversos inconvenientes del método, éste sería el único que se emplearía en el futuro, y se comentaba que la prueba de la descendencia, basada en tres descendientes, era al menos tan exacta como la apreciación del pedigrí —uno de los métodos en que se basaba entonces la selección— que relacionaba todas las características individuales desde tres generaciones atrás.

La prueba de la descendencia habría mostrado a Graux que la cualidad sedosa de la lana estaba determinada por un gen recesivo ya que la madre y el padre eran heterocigóticos. Tenían un gen (dominante) de lana normal y otro de lana sedosa, enmascarado por la superioridad del gen de lana normal. El cordero sedoso había heredado el gen de

lana sedosa de su padre más otro gen de lana sedosa de su madre. Era, pues, homocigótico recesivo. Una vez descubierto este hecho, sólo restaba hacer aquello que ya había hecho Graux: realizar cruzamientos consanguíneos.

Los profesores de los años cincuenta definían la consanguinidad como el acoplamiento de dos animales que tienen algún grado de parentesco. Dos animales son parientes cuando tienen uno o varios antepasados comunes, provocando así la posibilidad de poseer más genes en común que los miembros no parientes de la población; un parentesco estrecho significa una alta probabilidad de semejanza genética. El estudio del coeficiente de parentesco explica por qué el pedigrí y la herencia no son semejantes; lo que antes del mendelismo se consideraba un misterio no sería más que la consecuencia natural e inevitable de la segregación de genes de padres que no son totalmente homocigóticos.

El corderito sedoso era homocigótico, resultado del cruzamiento con cualquiera de las hijas o nietas sedosas y, por tanto, también homocigótica, siempre dio descendencia homocigótica, es decir, sedosa. La constancia genética de las líneas homocigóticas se mantiene por consanguinidad, a menos que haya una mutación.

Graux también hizo lo que los libros de los años cincuenta describían como...

CRUZAMIENTO DE ABSORCIÓN

La expresión se utilizaba sobretodo con relación a dos razas: una de ellas desea implantarse y la otra quiere absorberse por cruzamientos con la anterior. Teóricamente es la unión de un macho de la raza A al que se quiere implantar con una hembra de la raza B, la cual se quiere absorber. De los descendientes, solamente las hembras se emplean

en la reproducción, y acoplándolas siempre con machos de la raza A. Y así, progresivamente y durante determinado número de generaciones, la raza A aparece al tiempo que disminuye la raza B.

De las diferentes posibilidades en cruzamientos de absorción, el caso del cordero sedoso era el más fácil de realizar debido a que los animales que llevaban el carácter que se quería implantar eran inmediatamente reconocibles. El cruzamiento de absorción es una manera potente y rápida de transformar una raza en otra, o de transformar un ganado con ciertas características en uno de características superiores: un ganado de lana normal en un ganado de lana sedosa, por ejemplo.

En los años cincuenta, este cambio también se podía conseguir utilizando un método que entonces era revolucionario:

LA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL

La inseminación artificial ya estaba bien implantada en la Unión Soviética gracias al intenso trabajo de investigación y aplicación dirigido por Ivanov. Pero en la Europa occidental apenas empezaba a aceptarse como método generalizado de reproducción.

La inseminación artificial se definía como un método de fecundación según el cual el esperma obtenido mediante artificios meta-fisiológicos, se utiliza, inmediatamente o después de cierto tiempo de conservación, puro o diluido, en el mismo lugar en donde se obtuvo, o a distancia, para fertilizar una o varias hembras. El esperma se introduce en el aparato genital de la hembra mediante una jeringa, y se deposita en el segmento del aparato genital en que se favorecerá la unión del espermatozoide y del óvulo.

Se explicaban las virtudes del método: un toro

emite en cada eyaculación una gran cantidad de espermatozoides (miles de millones), pero se necesitan muchos menos (unos cincuenta millones) para asegurar la fecundación.

Hay pues dos ideas en la base de la inseminación artificial:

- a) En el caso de un macho excepcional, utilizar al máximo su fecundidad evitando la pérdida de un gran número de espermatozoides.
- b) En el caso de esterilidad de la hembra, introducir los espermatozoides lo más profundo posible dentro de las vías genitales.

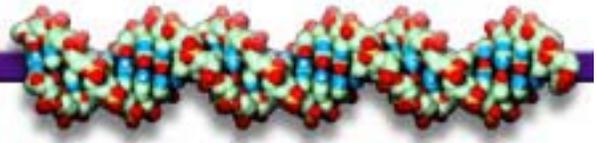
La ventaja primordial de la inseminación artificial consiste en permitir que los criadores utilicen machos de élite que normalmente no habría podido comprar, o bien, por la ausencia de estos machos en la región. Además, se sabe que la reducción del número de machos en una región disminuye el número de descendientes heterocigóticos. Eso también sería interesante para la obtención de corderos sedosos, homocigóticos todos para este carácter.

Graux habría aprendido todo esto si hubiese consultado a los profesores de la Escuela de Grignon en 1953, año crucial para la historia de la Genética a nivel internacional, pues en 1953 se publicó el pequeño artículo de Watson y Crick que proponía la estructura en doble hélice de la molécula de ADN.

► **Y hoy, en el siglo XXI, ¿qué explicación daríamos a Graux?**

Queremos acabar imaginando muy brevemente qué le diríamos hoy a Graux si viniera a vernos, a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

La creación del ganado de Mauchamp se explicaría hoy de la misma manera que se hizo en los años



cincuenta. Hoy la ley de los semejantes o la doctrina de la infección de la madre, o el mecanismo del atavismo ya no se enseñan. Pero las leyes de Mendel todavía conforman los primeros capítulos de libros de texto que ya no llevan por título «Herencia» o «Procesos hereditarios» sino «Genética». Aunque la explicación básica de la información del ganado de Graux sería la misma, los consejos que le daríamos serían, sin embargo, muy diferentes.

Se le explicaría que la producción de lana está codificada en un gen al que se ha podido separar del resto en el cromosoma, y se ha extraído de la célula al introducirlo en una bacteria capaz de hacer de él miles de copias idénticas. También que las copias pueden ser microinyectadas a las células de los corderos que se quiera, y así se puede formar un ganado llamado transgénico.

Se le explicaría que podrían extraerse unas cuantas células de tejidos del mejor cordero sedoso del ganado, cultivarlas dentro de unas botellas especiales, extraer los núcleos de esas células y transplantarlos a un óvulo de oveja desnucleado. Introducir después este óvulo al aparato reproductor de cualquiera oveja (sin importar el aspecto de su lana), obteniéndose de ello un cordero exactamente igual al mejor cordero sedoso del ganado. Esta operación podría hacerse las veces que se deseara. No obstante, se le tendría que aclarar que esta operación sería costosa, pues necesitaría pagar los derechos de la patente a la compañía que puso a punto el método registrado en los primeros meses de 1997.

Por último, sería prudente comunicarle que, si aceptara este método, él no sería dueño de un ganado, sino de un clon, y que la patente incluiría la aplicación de la técnica

en todos los mamíferos, inclusive en el hombre.

Después de tantos viajes, tantas sorpresas y tantas nuevas respuestas, y preocupado más bien por el futuro, Graux se preguntaría seguramente —como nos lo preguntamos nosotros— quién será el dueño de los clones humanos.

LITERATURA RECOMENDADA

- ▶ Albertí, S, Rossell i V, Pere M. Diccionari Biogràfic. Vol 4, Barcelona: Albertí, 1970.
- ▶ Burian RM, Gayon J, Zallen D. The singular fate of Genetics in the History of french Biology, 1900-1940. *J Hist of Biology* 1988; 21 (3): 357-402.
- ▶ Camps I Arboix J. Història de l'Agricultura Catalana. Barcelona: Taber, 1969.
- ▶ Craplet C. Génétique et élevage. Paris: Vigot Frères, 1953.
- ▶ Delage Y. L'hérédité et les grands problèmes de la Biologie générale. Paris: Librairie C. Reinwald, 1903.
- ▶ Jacob, F. La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité. Paris: Gallimard, 1970.
- ▶ López Rosado DG Historia de la agricultura y de la ganadería. México: Herrero, 1987.
- ▶ López R G. A prelude to Genetics: theories of a material substance of heredity, Darwin to Weissman. Kansas: Coronado Press, 1979.
- ▶ Sanson A. Traité de Zootechnie (économie du bétail). Tome I, Zoologie et zootechnie générales. Organisation, fonctions physiologiques et hygiène des animaux domestiques. Paris: Librairie Agricole de la Maison Rustique, 1877a.
- ▶ Sanson A. Traité de Zootechnie (économie du bétail). Tome II, Zoologie et zootechnie générales. Lois naturelles et méthodes zootechniques. Paris: Librairie Agricole de la Maison Rustique. 1877b.
- ▶ Secord J A. Darwin and the Breeders: A social History. En: Kohn D. editor. The Darwinian heritage. Princeton: Princeton University Press, 1985.
- ▶ Wilmot I, Schnieke AE, McWhir J, Kind AJ, Campbell KH. Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells. *Nature* 1997;385 (27) : 810-813.



*Carlos G. Gutiérrez Aguilar **

Médico Veterinario Zootecnista y Maestro en Producción Animal por la FMVZ. Después de finalizar su doctorado en la Universidad de Edimburgo, Escocia, se incorporó al Instituto Roslin, donde se logró la primera clonación a partir de células de animales adultos (Dolly). Durante su estancia en el grupo del Dr. Ian Wilmut, estuvo a cargo de las transferencias de embriones del proyecto de clonación en borregos y cerdos. Desde su retorno a México, ha propuesto y desarrollado activamente diversos proyectos con el fin de mejorar la fertilidad del ganado y la producción embrionaria.

Clonación y reprogramación nuclear

*Arantzatzú Lassala Irueste**

CLONACIÓN: ¿VIEJO ARTIFICIO NATURAL O NUEVA ESTRATEGIA TECNOLÓGICA?

El nacimiento de la oveja Dolly, primer animal resultado de la **clonación artificial** de un ejemplar adulto, abrió las puertas a un amplio debate científico y filosófico. Sin embargo, la clonación ha existido siempre en forma natural en muchos mamíferos, incluyendo al hombre, especie en que el nacimiento de gemelos idénticos no es más que el resultado de la clonación natural de un embrión. Pero, ¿cómo se produce esta clonación natural?

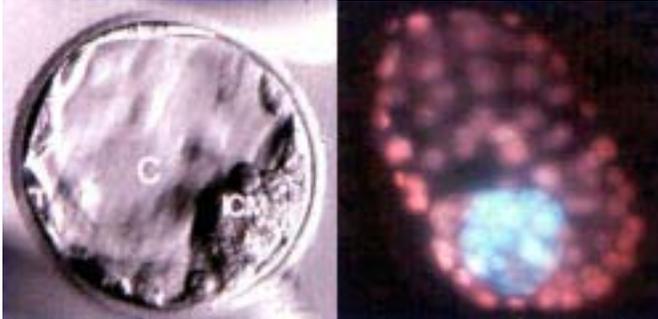
Después de la **fertilización**, en el **cigoto** que contiene los materiales genéticos de la madre y el padre comienza la **división celular**. En un principio, esta división ocurre sin que haya crecimiento del cigoto y, por tanto, el citoplasma se va dividiendo entre las células hijas. Las divisiones continúan hasta que el embrión llega al estado de **mórula**. Ésta es una esfera compacta formada por las células que se han producido durante varias rondas de división celular. Hasta este momento, las células han conservado su característica de **totipotencialidad**, es decir, permanecen indiferenciadas, y mantienen, cada una de ellas, la capacidad de dar origen a todos los órganos y tejidos del organismo. De aquí en adelante, las células dentro del embrión comienzan su diferenciación para especializarse en distintas funciones. Ésto puede observarse en el **blastocisto** (día seis a siete de vida en el embrión bovino), donde por primera vez se advierten dos poblaciones celulares diferentes: una de éstas se sitúa en la periferia, contiene al blastocelo y limita exteriormente al embrión (**trofoblasto**), mientras que la otra forma la **masa celular interna**. A partir del primer tipo de células se originan las estructuras placentarias, mientras que del segundo se forma el embrión propiamente dicho.

Alrededor de los días ocho y nueve de vida, el blastocisto ha crecido y al expandirse rompe la **zona pelúcida**. En este momento el embrión sale de dicha

*Departamento de Reproducción.
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
Universidad Nacional Autónoma de México. Cd.
Universitaria, México, D.F. 04510.



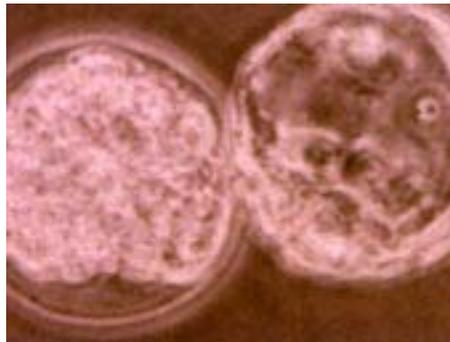
zona a través de la apertura formada. Este proceso se llama **eclosión** y ocurre, normalmente, sin ninguna eventualidad.



Blastocisto mostrando zona pelúcida, trofoblasto y masa celular interna

No obstante, en ocasiones, la masa celular interna se estrangula en el orificio de salida de la zona pelúcida, lo que propicia su división. Esto origina que se desarrollen dos fetos, uno a partir de cada mitad de la masa celular interna, dentro de un solo saco placentario. A este tipo de gestaciones se les conoce como **gestaciones gemelares**, y producen dos individuos genéticamente iguales provenientes de un solo cigoto. En un sentido estricto, y definiendo los clones como individuos que comparten el cien por ciento de su material genético, los productos de una gestación gemelar son clones.

Desde hace más de una década, el hombre ha sido capaz de producir artificialmente gemelos idénticos de animales domésticos, mediante la partición de embriones. Con esta técnica, los embriones de 32 a 128 células son divididos por micromanipulación, pudiéndose obtener hasta cuatro embriones a partir de uno solo. La **partición de embriones** es el primer ejemplo que se tiene de clonación como biotecnología reproductiva; a pesar de que dicha partición ya ha sido utilizada comercialmente, su aplicación práctica es muy limitada.



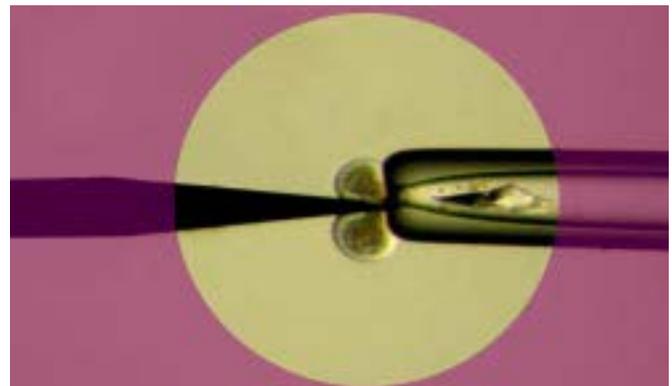
Blastocisto mostrando zona pelúcida

CLONACIÓN POR TRANSFERENCIA NUCLEAR

Además de la definición expuesta anteriormente, también se entiende por clonación la reproducción de un individuo a partir de una célula original. Esta segunda definición presupone la presencia de un organismo donador del material genético.

Este tipo de clonación se logra por medio de la **transferencia nuclear**. Esta técnica se describió por primera vez en 1952, y consiste en la extracción del material genético de un ovocito, para posteriormente introducirle el material genético del organismo a clonar. Esto se logra al poner la célula donadora del material genético en contacto con la membrana del ovocito, para que, por medio de una descarga eléctrica, se fundan ambas membranas celulares. El núcleo de la célula donadora entra al ovocito y comienza el desarrollo.

La primera especie en clonarse fue la rana. En estos primeros experimentos se observó que el grado de éxito de la transferencia nuclear dependía del grado de diferenciación de la célula donadora. Así, cuando la célula donadora provenía de un embrión antes de su segunda división, se obtenía una rana adulta; sin embargo, cuando la célula donadora provenía del intestino de un renacuajo (una célula más diferenciada), el desarrollo se detenía antes de alcanzar el estado adulto.



Bipartición embrionaria por micromanipulación

En la década de los ochenta, se realizaron exitosamente transferencias nucleares en mamíferos. Éstas se lograron por medio de la disociación de **blastómeros embrionarios** (células embrionarias no diferenciadas) y su posterior transferencia nuclear. Sin embargo, los intentos por realizar una transferencia



Transferencia nuclear. A punto de recibir una descarga eléctrica

nuclear mediante la utilización de células más diferenciadas fueron infructuosos. Ésto llevó a la conclusión de que el ADN de las células diferenciadas no podía reprogramarse, por lo tanto, surgió el dogma de que el proceso de diferenciación celular era un proceso irreversible.

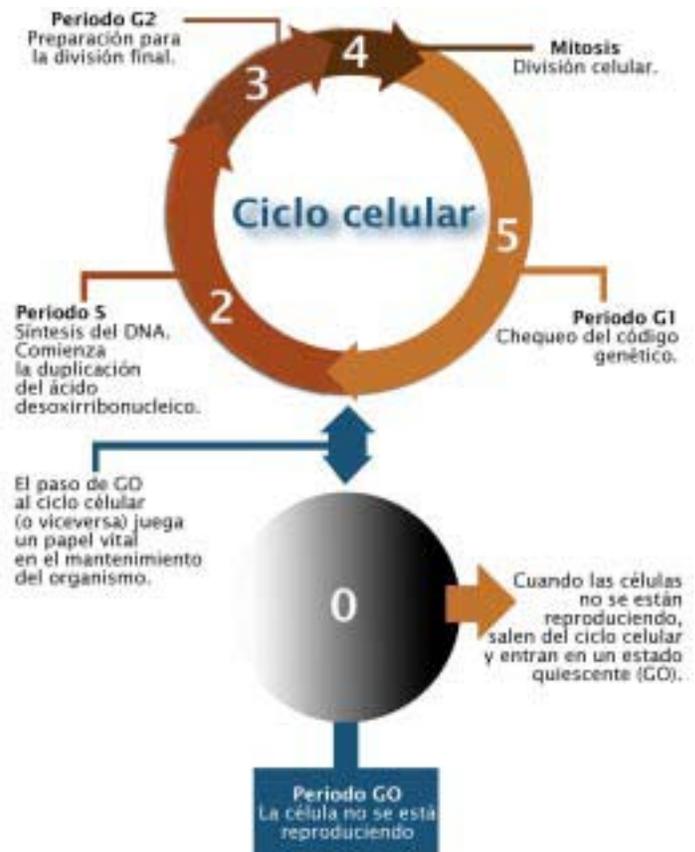
Actualmente sabemos que, este dogma se destituyó al lograrse la clonación de una oveja a partir de la célula mamaria de un animal adulto. El nacimiento de Dolly revolucionó el pensamiento científico. Sin embargo, este descubrimiento no fue fortuito, los investigadores del grupo del doctor Wilmut se dieron cuenta de la importancia de que existiera una coordinación entre el ciclo celular del ovocito receptor y el de la célula donadora del núcleo.

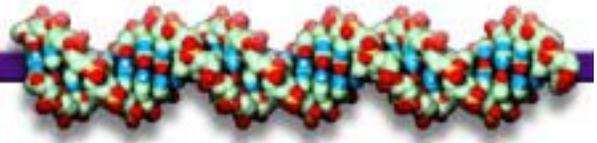
El ciclo celular pasa por cuatro etapas. En ellas, la célula entra en un periodo de **crecimiento (G1)** después de su división mitótica, y le siguen un periodo de **síntesis de ADN (S)** y una etapa corta de reposo, en la cual se prepara para la siguiente **partición (G2)** para finalmente dividirse por **mitosis (M)**. Cuando las células se multiplican, se encuentran en alguna de estas cuatro etapas; sin embargo, al diferenciarse para ejercer una función específica, abandonan momentáneamente el ciclo celular antes de llegar a la fase S. Existe además otro momento en que la célula abandona el ciclo celular, cuando entra en un periodo de reposo en que no se diferencia ni se divide (**Go**). De este modo, se

encontró que si se induce a las células a entrar en este periodo de latencia (**Go**), se incrementan la efectividad de la reprogramación nuclear y las posibilidades de éxito de la transferencia. Así, en 1996 se publicó, con la utilización de esta metodología, lo referente al nacimiento de animales clonados. Después de este

importante descubrimiento, el paso lógico fue ensayar con células diferenciadas provenientes de animales adultos, lo que finalmente llevó al nacimiento de Dolly.

En un principio, la clonación a partir de animales adultos estuvo rodeada de gran asombro y escepticismo, hubo incluso





un grupo de científicos que, ante la imposibilidad de lograr resultados similares, juzgaron tempranamente la clonación de Dolly como resultado del azar. Debido a que la célula donadora provenía de la glándula mamaria de una oveja gestante, ellos argumentaban que el éxito de Wilmut se sustentaba en la fortuita elección de una célula indiferenciada, misma que habría cruzado del feto hacia la madre, establecida en la glándula mamaria. Esta crítica no encontró eco en la comunidad científica, primero por la mínima posibilidad de que esto pudiera ocurrir, y posteriormente por la gran cantidad de individuos clonados que se han obtenido alrededor del mundo.

Actualmente, nadie duda ya de la posibilidad de producir clones. Se han logrado clonaciones a partir de células diferenciadas provenientes de una gran diversidad de tejidos (glándula mamaria, células de la granulosa, músculo, hígado, oviducto, fibroblastos, piel, etcétera) y en la gran mayoría de las especies domésticas (borregos, cabras, vacas, conejos, cerdos y ratones).

REPROGRAMACIÓN NUCLEAR

La clonación no solamente derribó el dogma de la irreversibilidad de la diferenciación celular, pues el hecho de haberla logrado exitosamente a partir de células somáticas diferenciadas es, por sí mismo, un suceso asombroso que ha obligado a los científicos a revalorar los procesos de la diferenciación celular y de la reprogramación nuclear.

En las células diferenciadas, la función celular está regulada por factores que activan o reprimen la transcripción de genes. Aunque el contenido y la secuencia del ADN nuclear es similar en la mayoría de las células del organismo durante el desarrollo, los genes expresados en un tipo particular de célula es limitado. A los cambios que regulan la actividad génica sin involucrar mudas en la secuencia de ADN se les conoce como cambios epigenéticos. Una vez que se han dado los cambios epigenéticos, son transmitidos a la descendencia. Así, una célula hepática —por ejemplo—,

que tiene cierto patrón de genes, heredará a su descendencia dicho patrón. Sin embargo, la clonación demostró que las células diferenciadas pueden reprogramarse y regresar a la fase en que eran capaces de dar origen a cualquier tipo celular.

La **reprogramación nuclear** es el proceso mediante el cual un núcleo proveniente de una célula especializada readquiere el potencial de desarrollo que tenía como célula indiferenciada al transferirse a un ovocito enucleado. Cuando se utiliza la técnica de transferencia nuclear, la cromatina del núcleo transferido se expone al citoplasma del ovocito enucleado, ésto propicia un intercambio de componentes entre ambos, que influye en los procesos que permiten la **descondensación de la cromatina** y en algunos mecanismos como la **metilación del ADN**. La manera en que los cromosomas están **condensados** (cambios en la estructura de la cromatina) determina en gran medida el destino de las células, y hace que los genes estén accesibles o inaccesibles al proceso de **transcripción**. Por otro lado, la **metilación de la citosina** altera la apariencia del ADN, lo cual provoca un cambio heredable, entre generaciones celulares, de la estructura de la cromatina que altera la interacción entre las proteínas y el ADN, ocasionando una disminución del **índice de transcripción génica** y a veces bloqueándola.

Durante las primeras divisiones mitóticas, en el cigoto ocurre la desmetilación de las modificaciones epigenéticas presentes en el ADN de los padres. De este modo, el embrión carece casi por completo de metilaciones, por tanto, todos los genes están activados para transcribirse. Posteriormente, entre la implantación y la gastrulación, hay una nueva oleada de metilaciones en el ADN; éstas se mantendrán por el resto de la vida. Para que el núcleo proveniente de una célula diferenciada readquiera un completo potencial de desarrollo, es necesario revertir los cambios bioquímicos que establecen las limitaciones del potencial genético. La eficiencia de este revertimiento probablemente determina el éxito del desarrollo subsecuente del embrión.

EDAD DE LOS CLONES

Son muchas las preguntas planteadas en relación con la clonación y sus posibles consecuencias para la vida de los individuos clonados. Una de las más sonadas es la referente a la edad del clon, ¿si el animal que dona el material genético tiene cuatro años de edad, cual será la edad del individuo clonado que se origine de éste cuando cumpla un año? ¿Cinco años o uno?

Los **telómeros** consisten en fragmentos cortos de nucleótidos ricos en guanina que se repiten una y otra vez y se encuentran en los extremos de los cromosomas de las células eucariotas. Cada vez que el ADN se replica, una pequeña parte de la orilla de los telómeros se pierde, y es periódicamente restaurada por una enzima llamada **telomerasa**. Esta enzima es, sin embargo, menos eficiente que el sistema de replicación normal del ADN, lo que crea una variación en el número de repeticiones en la secuencia del telómero. A mayor número de divisiones celulares, la longitud de los telómeros se acorta progresivamente. El envejecimiento celular se ha correlacionado con este acortamiento progresivo de los telómeros. Se sabe que los telómeros de los cromosomas de Dolly eran aproximadamente 20 por ciento más cortos que los de una oveja normal de su edad. Se puede pensar entonces que los animales clonados son genéticamente más viejos que los normales. Sin embargo, el envejecimiento es el deterioro más o menos simultáneo de diversos sistemas corporales, por lo que la gran cantidad de genes que determinan la función de cada uno de éstos intervienen en el mismo. De tal forma, no existe evidencia de que el acortamiento de los telómeros determine la longevidad. Adicionalmente, se ha

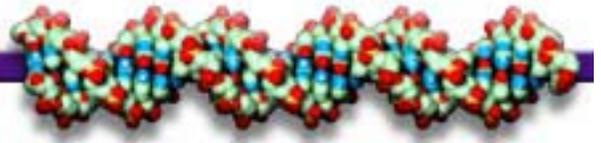


encontrado que no existe diferencia en la longitud de los telómeros de bovinos clonados y sus contrapartes producidos por inseminación artificial.

BENEFICIOS POTENCIALES DE LA CLONACIÓN

Aún no es posible contemplar, en su totalidad, los beneficios que la clonación traerá en un futuro; no obstante, ya se vislumbra un número de aplicaciones para esta nueva tecnología. Como era de esperarse, se vincularán con otras tecnologías, como sucedió con el uso de la criobiología y su éxito en el uso de la inseminación artificial y la transferencia de embriones. En este caso, la clonación se enlaza y se manifiesta en simbiosis con la ingeniería genética. Actualmente, por ejemplo, el método utilizado para producir individuos transgénicos de especies domésticas se lleva a cabo por **inyección pronuclear**, la cual consiste en la inyección de varios cientos de copias del gen de interés dentro del núcleo del cigoto por medio de una micropipeta. Sin embargo, este método tiene varios inconvenientes: 1) no se tiene control del sitio en donde se va a integrar el ADN; 2) hay que esperar el nacimiento de los animales para evaluar la integración y la expresión del gen introducido; 3) se desconoce el sexo del producto.

Con el uso de la clonación es posible llevar a cabo las modificaciones genéticas necesarias en las células en cultivo, y una vez que éstas han incorporado el ADN introducido, pueden usarse como donadoras de núcleo. Esta metodología resuelve los problemas señalados anteriormente y reduce el número de animales y el tiempo necesario para lograr la obtención de individuos transgénicos.



USOS DE LA CLONACIÓN

ASISTENCIA A PROGRAMAS DE SELECCIÓN GENÉTICA

Actualmente, la presión de selección se aplica principalmente a los machos, evaluándolos por la producción de sus hijas y diseminando el avance genético a los hatos comerciales por inseminación artificial. Con el uso de la clonación será posible producir animales de élite, acelerando dichos avances. Asimismo, se puede acortar el tiempo requerido para fijar características productivas deseables en el ganado, lo que actualmente se realiza con programas de cruzamientos consanguíneos.

MODIFICACIONES GENÉTICAS ESPECÍFICAS

Alimentos modificados o nutraceuticos. Existe una gran cantidad de alimentos que pueden modificarse para hacerlos más aceptables y nutritivos para el hombre. Por ejemplo, hay personas que son alérgicas a ciertos componentes de la leche, pero por medio de ingeniería genética y clonación, se pueden crear vacas que produzcan leche apta para personas alérgicas.

XENOTRANSPLANTES

Se refiere al trasplante de órganos entre especies. Actualmente, existe una gran demanda de órganos para trasplantes que no es cubierta por las donaciones altruistas. El uso de órganos provenientes de animales domésticos puede ayudar a cubrir este déficit, ya que con ayuda de la ingeniería genética se pueden modificar los complejos proteicos y los carbohidratos asociados con la membrana celular causantes del rechazo inmunológico.

MODELOS PARA INVESTIGACIÓN

El uso de modelos animales para investigar ha ayudado a comprender la fisiopatología de muchas enfermedades. Normalmente, estos modelos son ratones, pues en ellos se pueden introducir mutaciones específicas. Gracias a la clonación será posible crear modelos de investigación con

animales cuya fisiología se asemeje más a la humana, confiriéndoles mayor valor científico. Asimismo, la clonación puede utilizarse para sustituir los modelos consanguíneos usados en investigación.

TERAPIA CELULAR

Una vez que se comprendan los mecanismos de reprogramación genética, puede pensarse en la diferenciación celular controlada; esto podría utilizarse para el tratamiento de algunas enfermedades. Actualmente, por ejemplo, para disminuir el riesgo de rechazo inmunológico en trasplantes de médula ósea en enfermos de leucemia, se buscan parientes cercanos al paciente como donadores. Al conocer los mecanismos por los cuales la célula se diferencia, será posible realizar *in vitro* la multiplicación dirigida a la línea celular de interés mediante células obtenidas del paciente mismo, las cuales pueden ser reimplantadas sin riesgo de rechazo alguno.

INVESTIGACIÓN DE CÁNCER Y ENVEJECIMIENTO

Durante toda la vida, debido a las repetidas divisiones celulares, se acumulan pequeñas alteraciones del ADN llamadas mutaciones somáticas. A partir de la clonación de células de animales adultos, será posible investigar si estas mutaciones están implicadas en los procesos de cáncer y envejecimiento.

PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS HUMANAS

La obtención de proteínas humanas para el tratamiento de ciertas enfermedades se realiza actualmente a partir de suero humano, de cultivos celulares o por tecnología recombinante en cultivos bacterianos. Sin embargo, existen inconvenientes para estos métodos, tales como el riesgo de transmisión de enfermedades cuando la proteína se deriva de suero humano, la baja eficiencia y el alto costo de los cultivos celulares, y la carencia de modificaciones postraduccionales a las proteínas recombinantes obtenidas en cultivos bacterianos. La producción de proteínas humanas en la leche de animales transgénicos podría evitar estos problemas, con costos

relativamente bajos. Ésta es una de las promesas de la clonación que ya se está haciendo realidad, ya que en 1997 se obtuvieron ovejas transgénicas, clonadas a partir de células transfectadas *in vitro* con el gen humano del factor IX de la coagulación.



CONSERVACIÓN GENÉTICA

Por medio de la clonación se posibilita el rescate de especies en peligro de extinción. Por otra parte, y debido a la presión en la producción animal, muchas variedades de las especies domésticas son desplazadas por otras más productivas, pero la clonación hace posible el almacenamiento de todo este material genético.

LA CLONACIÓN, AÚN EN PAÑALES.

A pesar de lo dicho hasta ahora, la clonación es aún un proceso muy ineficiente, al tener típicamente un porcentaje de crías nacidas por transferencias nucleares que oscila entre el cero y el tres por ciento. La gran mayoría de los individuos obtenidos por clonación se pierden en el primer tercio de la gestación, aunque también son frecuentes los abortos más

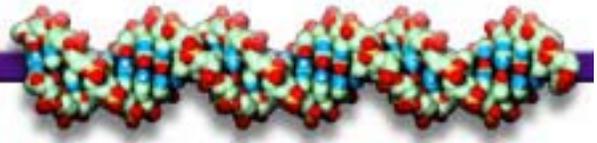
tardíos. Finalmente, una gran proporción de las crías nacidas mueren a los pocos días de vida.

Se han estudiado las alteraciones de la gestación temprana; éstas incluyen principalmente deficiencias de la placenta, con poco desarrollo del epitelio trofoblástico y vascularización reducida. Posteriormente, los fetos pueden mostrar una serie de anomalías congénitas (hígado agrandado, defectos cardiopulmonares, edema de placenta, hidroalantoides, etcétera). Por último, los individuos que llegan a término pueden sufrir tanto cardiomiopatías como estrés respiratorio ocasionado por deficiencia de factores surfactantes, sumándose esto a hipertensión pulmonar y presión venosa elevada. En ocasiones no se logran determinar anomalías en los fetos o recién nacidos; aunque, se piensa que existen fallas en la reprogramación nuclear que podrían ser responsables de la interrupción en el desarrollo. La comunidad científica advierte que aun los clones aparentemente sanos pueden tener pequeños cambios en la expresión génica que no sean lo suficientemente severos para ser letales, pero podrían tener efectos determinantes en la expresión de los genes en etapas posteriores.

En conclusión, la clonación ha abierto nuevos horizontes para el conocimiento científico. Las muchas corrientes de estudio que se han originado redundarán en un mejor entendimiento del control de la expresión genética, trayendo, sin lugar a duda, beneficios en la medicina y en la biotecnología. Las limitaciones actuales de la clonación se relacionan principalmente con el escaso conocimiento que se tiene sobre los procesos llevados a cabo en la reprogramación nuclear. Así, esta técnica es aún ineficiente, pues existe un gran porcentaje de mortalidad embrionaria y perinatal, además de que se desconocen los efectos de las mutaciones somáticas en el desarrollo posterior de los individuos clonados.

LITERATURA RECOMENDADA

- ▶ Campbell KHS, McWhir J, Ritchie WA and Wilmut I. Sheep cloned by nuclear transfer from a cultured cell line. *Nature* 1996; 380: 64-66.



- ▶ Schnieke AE, Kind AJ, Ritchie WA, Mycock K, Scott AR, Ritchie M, Wilmot I, Colman A. and Campbell KHS. Human factor IX transgenic sheep produced by transfer of nuclei from fetal fibroblasts. *Science* 1997; 278: 2130-2133.
- ▶ Wilmot I, Schnieke AE, McWhir J, Kind AJ and Campbell KHS. Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells. *Nature* 1997; 385: 810-813 .
- ▶ Shiels PG, Kind AJ, Campbell KHS, Waddington D, Wilmot I, Colman A and Schnieke AE. Analysis of telomere lengths in cloned sheep. *Nature* 1999; 399: 316-317.
- ▶ Young LE, Fernandes K, McEvoy TG, Butterwith SC, Gutiérrez CG, Carolan C, Broadbent PJ, Robinson JJ, Wilmot I and Sinclair KD. Epigenetic change in IGF2R is associated with fetal overgrowth after sheep embryo culture. *Nature genetics* 2001; 27: 153-154.
- ▶ Trounson, A. Nuclear transfer in human medicine and animal breeding. *Reprod Fertil Dev* 2001; 13.
- ▶ Rideout WM, Eggan K and Jaenisch R. Nuclear cloning and epigenetic reprogramming of the genome. *Science* 2001; 293.
- ▶ Reike W, Dean W and Walter J. Epigenetic reprogramming in mammalian development. *Science* 2001; 293:1089-1093.
- ▶ De Sousa P, King T, Harkness L, Young LE, Walker SK and Wilmot I. Evaluation of gestational deficiencies in cloned sheep fetuses and placentae. *Biol. Reprod.* 2001; 65:23-30.
- ▶ Hill JR, Burghardt RC, Jones K, Long CR, Looney CR, Shin T, Spencer TE, Thompson JA, Winger AQ and Westhusin ME. Evidence for placental abnormality as the major cause of mortality in first-trimester somatic cell cloned bovine fetuses. *Biol. Reprod.* 2000; 63:1787-1794.
- ▶ Hill JR, Roussel AJ, Cibelli JB, Edwards JF, Hooper NL, Miller MW, Thompson JA, Looney CR, Westhusin ME, Robl JM and Stice SL. Clinical and pathologic features of cloned transgenic calves and fetuses. *Theriogenology* 1999; 51:1451-1465.

Fotografías proporcionadas por Carlos Gutiérrez.



José Manuel Berruecos V.

En 1965 se gradúa como médico veterinario zootecnista en la Escuela Nacional de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM. A mediados de la década de 1960 fue becado para estudiar en la Universidad de Carolina del Norte, en donde obtuvo grados de maestría y doctorado en el área de Genética Animal y Estadística. Ha escrito varios libros, entre los que destaca *Mejoramiento genético del cerdo*. Es miembro de la academia Veterinaria Mexicana, de la Academia Mexicana de Ciencias y la Academia Nacional de Medicina. Obtuvo en 1998 el Premio Universidad Nacional en docencia en Ciencias Naturales y en el año 2001 fue nombrado Profesor Emérito de la Universidad.

El genoma del Perro

En 1900, el descubrimiento de los trabajos que realizó cuarenta años antes el monje austriaco Gregorio Mendel representó un gran avance en el conocimiento de la biología. Hasta entonces, los mecanismos de la herencia eran por demás oscuros y contradictorios: la generación espontánea, la herencia de caracteres adquiridos, el preformismo y el epigenismo eran las formas como el hombre se explicaba la continuidad biológica de las crías, que, si bien mantenían las características de la especie, mostraban gran variabilidad.

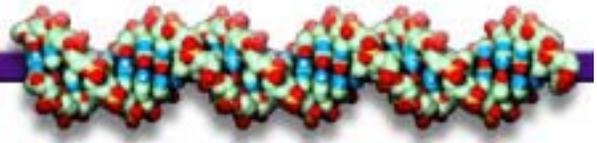
Desde 1900, inició la búsqueda del material responsable de la transmisión hereditaria. Destacan los trabajos de Griffith, a finales de los años veinte, y de Avery, McLeod y McCarty en los cuarenta; en ellos, ya se sugería la estructura del ADN como el posible mediador en la continuidad de la vida.

En 1953, Watson y Crick publicaron en la revista *Nature* (trabajo por cierto de sólo una página), sus hallazgos sobre la estructura del ADN una vez que usaron la difracción por rayos X de la molécula. Esta es, sin duda, otra de las piedras angulares del conocimiento humano.

Como se sabe, el ADN es una estructura formada por dos cadenas que siguen la conformación de una escalera de caracol. Cada parte del caracol es una secuencia de **nucleótidos** y estos, son la estructura básica de los peldaños de la escalera está formada por un ácido fosfórico, un azúcar (desoxirribosa) y una base.

Los peldaños se unen entre sí por el ácido fosfórico, y las dos cadenas, por uniones entre cuatro bases: **adenina (A)**, **timina (T)**, **citosina (C)** y **guanina (G)**. La base A siempre se unirá a la T, y la C a la G. De esta manera, las dos cadenas están unidas, pero una representa el negativo de la otra; es decir, son complementarias. Por ejemplo, si una cadena es ATTG, la otra siempre será TAAC.

El orden en que se encuentren las bases de una cadena (y su negativo correspondiente) pueden darnos millones de combinaciones. Si en el primer sitio hay cuatro bases y en el segundo otras cuatro, tendríamos 16 combinaciones. El



número de posiciones (n) será el exponente al que habría que elevar el cuatro. Así, una cadena de diez bases, es 4 a la 10ª potencia, lo que nos da 1,048,576 combinaciones. Se considera que en el genoma humano hay aproximadamente tres mil millones de nucleótidos; éste sería el valor de la potencia a la que se eleva el hipotético número cuatro para conocer el posible número de combinaciones. Baste decir que la bacteria más sencilla cuenta con 600 mil nucleótidos en cada cadena.

Posteriormente, Crick propuso que cada grupo de tres nucleótidos (**codón**) identificaba en forma precisa a algunos de los veinte aminoácidos esenciales. De esta forma se integra el "**dogma central de la biología**": los genes regulan la síntesis de proteínas (aminoácidos en orden determinado). El orden es dictado por la secuencia de bases (nucleótidos) en el ADN.

Esta información (AT y CG) se transporta del núcleo a la maquinaria celular, la cual traduce el

código en su aminoácido equivalente para luego realizar la síntesis. Se requiere que el código en el ADN nuclear se copie, transporte y traduzca para que se sinteticen las proteínas que

en forma críptica se indicaban en el ADN.

Por lo anterior debemos seguir dos puntos: cada fracción de ADN (**gen**) codifica la formación de una proteína, y cada ADN tiene una cadena complementaria.

Si conociéramos el orden y la posición en que están los nucleótidos en el ADN, sabríamos las

proteínas que están codificando, y si supiéramos para qué sirve esa proteína, tendríamos la localización del gen responsable de su síntesis.

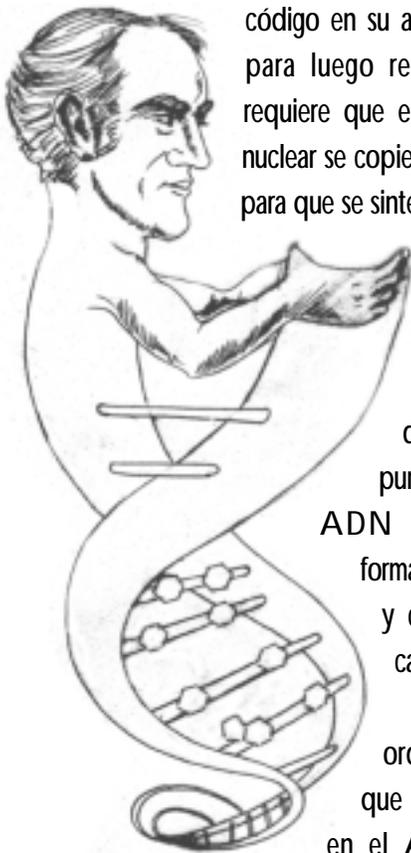
En 1970, Smith y Nathans descubrieron una enzima capaz de reconocer y recortar secuencias bien diferenciadas de ADN, por esto se les otorgó el Premio Nobel de 1978. Con ésta y otras enzimas específicas para cortar la cadena, se han conseguido fracciones definidas de ADN, las cuales se pueden multiplicar y estudiar en función de la proteína que producen. Después, para conocer la secuencia de las bases, Gilbert utilizó reacciones químicas y Sanger reacciones enzimáticas; por lograr su objetivo fueron premiados con el Nobel en 1980.

Actualmente, pueden hacerse estos procedimientos en forma automatizada, con gran precisión y rapidez. Si a esto añadimos la multiplicación de las cadenas, por pequeñas o escasas que sean, con la técnica de **reacción en cadena de la polimerasa (PCR)**, contaremos con material suficiente para estudiar la producción de proteínas, la identificación de ADN lesionado y la obtención de individuos transgénicos, o bien, simplemente para fines diagnósticos.

Hace unos meses se dio a conocer que se había logrado obtener la secuencia de prácticamente todo el ADN humano. Esto fue a raíz de que se inició uno de los proyectos más ambiciosos de la ciencia: descifrar el genoma humano. Hace poco más de diez años se invitó a los investigadores de todo el mundo a colaborar con esto, y se estableció una red de intercambio vía Internet para tener acceso a la información generada; la base de datos tiene una magnitud impresionante.

En forma simultánea, el consorcio internacional que maneja al Proyecto Genoma Humano (PGH) y la empresa privada *Celera Genomics Corp.* anunciaron que casi concluían el desciframiento, pero, de común acuerdo, plantearon una colaboración entre ellos; la importancia de esto radicó en el problema del manejo de patentes.

En relación con lo que se manejó en los medios es



importante hacer una precisión: ni es todo el genoma, ni es el de toda la humanidad. Celera trabajó con cinco individuos y el PGH con uno; es bien sabido que, por muy sanos y normales que sean, debe existir aún una porción de diversidad no evaluada: la que nos hace orgullosamente diferentes. La información de estos individuos es casi completa (en un rango del 97 al 99 por ciento del genoma para Celera y PGH respectivamente), aunque todavía falta descifrar el genoma mitocondrial, que puede ser de gran importancia debido a las funciones que realiza la mitocondria. Por otro lado, el conocer la secuencia no implica conocer el funcionamiento completo ni el sentido de cada una de las fracciones de ADN analizadas.

Es como si se tuvieran en el centro de un gran salón miles de páginas escritas en diferentes idiomas. Primero habría que ponerlas en orden, libro por libro (gen por gen), colocarlas en sus respectivos anaqueles (cromosoma por cromosoma) y leerlas para saber qué dice cada libro y para qué sirve. Por si fuera poco, habría libros que se utilizarían para decodificar otros, y algunos estarían escritos en 'sánscrito' o, incluso, con «puras incoherencias».

El paso siguiente será completar la secuenciación (a pesar de ser poco, falta lo mas difícil), confrontarla con más individuos, detectar genes importantes (primero, los relacionados con enfermedades) y tratar de conocer la función y la interacción de los restantes. Entonces si tendremos la capacidad para decir que conocemos el genoma humano.

Siguiendo este ejemplo, se ha tratado de conocer el genoma de otras especies: en animales destacan la *Drosophila*, el ratón y el caso que nos ocupa: el perro.

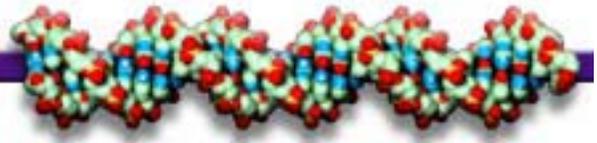
Para empezar, del perro debemos decir que cuenta 78 cromosomas (39 pares, uno de ellos sexual) en los

que se han localizado diversos tipos de genética mendeliana con distintas características. Por ejemplo, la atricosis o falta de pelo es un rasgo dominante autosómico, aunque hay otro gen, similar al del ratón, del que sólo sobrevive el heterocigótico. Paladar hendido, ataxia, atrofia retinal, criptorquidismo y columna vertebral corta (*baboon*) son rasgos recesivos autosómicos. Ligadas al sexo están las hemofilias A y B (tipo Christmas).

De la displasia de cadera se sabe que hay varios genes que afectan la constitución ósea, pero de la diabetes, aún no se define el proceso. Se sabe que hay siete sistemas en los grupos sanguíneos (uno de ellos con tres alelos), y que el color lo dan dos genes básicos (negro y rojo; café y amarillo) en un dilibridismo clásico, aunque hay nueve genes modificadores más (bicolor, chocolate, chinchilla, manchas, golondrino, puntos, azul, máscara y cambio con edad). El caso de los dálmata es interesante, pues tienen un gen autosómico recesivo que les impide reabsorber el ácido úrico a la altura del túbulo renal. Hay otro caso de parálisis debida al complemento de genes que se presentan en la cruce de Gran Danés con San Bernardo.

A partir de los avances en genética molecular, se ha considerado al perro como una especie importante para la





investigación, debido a que hay más de 400 razas de diferente talla, forma y conducta, lo cual puede usarse para identificar patrones específicos en el ADN al relacionarlos con características concretas. Además, cada defecto en una raza determinada se debe a la herencia de sus ancestros, lo que permite estudiar el proceso evolutivo y la separación de razas y especies. El mapa actual de los genes del perro, obtenido por ligamientos, abarca 276 sitios específicos dentro de los cromosomas, e incluye a los 38 cromosomas autosómicos.

En 1997, científicos de las universidades de California y Oregon y del Instituto de Investigaciones Oncológicas "Fred Hutchinson" publicaron el plan "*Dog genome project*", y un año después el "*Data base of genome size*". Dos años más tarde se creó la red mundial "FHCRC *Dog genome project*" con el fin de que todos los avances se centralizaran en un punto de la red de comunicación. Ahí se incluyó el "*Canine codon usage*" de la doctora Melliza de Mille (todo

esto puede consultarse en Jasper-Rine@ls.berkeley.edu. y en cmellers@fhcrc.org).

En la última lista se incluyen más de 250 marcadores genéticos del perro, con sus correspondientes fracciones conocidas en el hombre y en el ratón.

De Mille también estudió la frecuencia con que se encuentra cada codón y, por tanto, cada aminoácido. Gracias a ella sabemos, por ejemplo, que el codón más frecuente es el GAG (para la leucina), y el menos frecuente (sin contar los ATC, ATT Y ACT que son terminales) es el GAA (también para la leucina).

Sin embargo, la situación actual sólo representa el inicio de grandes posibilidades científicas: diagnóstico de enfermedades, posibilidades de cruza, paternidad, fármacos diseñados *ex profeso*, control y sustitución de genes, etcétera. Son muchas las posibilidades, tantas, que parecerían extraídas de las novelas de ciencia ficción. Pero la realidad es que hoy ya se vislumbran.



*Yesmín María
Domínguez Hernández*

CEIEPAG

Corresponsable del área caprina.
Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en
Producción Agrícola y Ganadera, ubicado en Carretera
Chalco - Mixquic Km. 2.5 Chalco, Estado de México. CP
056600 Tel y Fax. 5973-18 35.

La transferencia de embriones: alternativa para la producción de carne caprina

Rodolfo Rodríguez Maltos, Juan Antonio Rodríguez García

Las líneas de investigación relacionadas con la aplicación de técnicas biotecnológicas en la reproducción animal tienen, en México, poca proyección por sus altos costos; sin embargo, un estudio económico de esas aplicaciones revela que el potencial productivo, que podría solucionar muchos problemas genéticos de los rebaños de los productores nacionales, se desperdicia.

En los últimos años se han logrado desarrollar estrategias reproductivas que permiten aprovechar, con mejores resultados, el potencial genético de los animales. Una de estas técnicas es la transferencia de embriones: consiste en pasar de una hembra a otra los embriones adecuados; la hembra donante provee la base genética de la cría, y la receptora sirve de incubadora del embrión y, obviamente, de la cría.

El objetivo fundamental de la transferencia embrionaria es el incremento de la tasa reproductiva de hembras con alto valor genético, de la misma manera como la inseminación artificial busca el aumento de la tasa reproductiva de machos genéticamente superiores. También facilita el comercio internacional de material



Foto: Verónica Caballero

genético; algunos agentes infecciosos que causan enfermedades en el ganado no se transmiten en el embrión, éste se puede tratar antes de su congelamiento para librarlo, así, de la contaminación. Este método no sólo es más barato, sino que además la adaptación



de las crías al nuevo ambiente es mejor, ya que sus gestoras, que son receptoras locales, reciben anticuerpos específicos contra los patógenos de la región; las crías inician el proceso de adaptación fisiológica desde el nacimiento.

Para aplicar la transferencia de embriones se necesita organización y planeación de actividades, instalaciones adecuadas, equipo especial, nivel óptimo de destreza y experiencia suficiente de quienes la realizarán, desde la alimentación y manejo de donadoras, hasta la parición de las crías y su cuidado.

Los principales pasos para realizar el lavado y la transferencia de embriones son:

- ≠ Registro de animales
- ≠ Selección de donadoras, receptoras y sementales
- ≠ Selección de la época de empadre
- ≠ Sincronización de donadoras y receptoras
- ≠ Superovulación de donadoras
- ≠ Detección de celo en donadoras y receptoras
- ≠ Monta o inseminación artificial a donadoras
- ≠ Lavado embrionario de donadoras
- ≠ Transferencia embrionaria a receptoras
- ≠ Cuidados posoperatorios
- ≠ Diagnóstico de gestación
- ≠ Cuidados durante la gestación
- ≠ Cuidados durante el parto

Los malos manejos de esta tecnología ocasionarían problemas irreversibles; por tanto, dado que es un



Foto: Verónica Caballero Gutiérrez

instrumento efectivo de reproducción para el mejoramiento genético, debe usarse sólo por expertos, los ganaderos usuarios deben involucrarse en el planteamiento y en las actividades, y comprender la importancia de cada etapa, hacer caso a las recomendaciones para que puedan tener un buen manejo de sus rebaños.

El caprino es uno de los animales más aptos para producir carne y leche, aun en condiciones difíciles de zonas marginales, ahí, en donde a otras especies no solamente les sería difícil producir, sino sobrevivir.

Son muchas las ventajas que se obtienen al usar la cabra como fuente proveedora de carne roja, estos beneficios ocasionan que sus crías se extiendan a otras regiones del mundo.

Puede utilizarse a todas las razas caprinas para producir carne, pero las mejores características cárnicas las presenta la raza Boer, gracias al modo de distribución de su grasa y al rendimiento de canal, distinguiéndose también por su tasa



Foto: Laura Elena Hernández Diosdado

de crecimiento y desarrollo, con ganancias diarias de 200 a 250 gramos de peso en forma intensiva, y de 150 a 170 gramos al día en forma extensiva, además de su adaptabilidad a climas que muchas veces son adversos. Estas cualidades la hacen más idónea para impulsar la producción de alimento de origen animal en ámbito nacional.

Los primeros caprinos Boer llegaron a México en 1994, en forma de embriones congelados provenientes de Nueva Zelanda; se obtuvieron por medio de la técnica de transferencia de embriones en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Bovina y Caprina (CEIEPBC) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

A partir de 1995 la raza se trasladó al Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Producción Agrícola y Ganadera (CEIEPAG), donde se han logrado buenos resultados de las técnicas de lavado y transferencia de embriones: entre 1996 y 1999 se han obtenido, en promedio, casi diez embriones por donadora, y una tasa de preñez en las hembras receptoras de un embrión fresco del 41.93 por ciento y del 29.15 en las hembras transferidas con embrión congelado. La supervivencia de las crías provenientes de la transferencia de embrión fresco es de 1.5 por hembra, mientras que la transferencia de embrión congelado es de 1.3 por hembra.

El uso de esta técnica ha reducido el intervalo entre generaciones, con la rápida obtención de ejemplares con alta calidad genética y, por tanto, la manifestación de caracteres positivos para la producción.



Foto: Laura Elena Hernández Diosdado

En los pequeños rumiantes, la aplicación comercial de la transferencia embrionaria ha sido lenta, debido a que aún genera costos elevados y resultados variables, pero con tiempo e investigación, como todas las biotecnologías, logrará ser más eficiente y, sobre todo, diseminarse conforme se desarrolle.

LITERATURA RECOMENDADA

- ▶ Amoa EA, Gelaye S. Embryo recovery, evaluation, storage and transfer in goats. *Small ruminant research*. 1991;6
- ▶ Ishwar AK, Mamon MA. Embryo transfer in sheep and goat: a review. *Small ruminant research* 1996;19:35-43
- ▶ Mejía O. Transferencia de embriones en pequeños rumiantes. Memorias curso teórico – práctico sobre manejo reproductivo e inseminación artificial en pequeños rumiantes. División de Educación Continua, FMVZ–UNAM, México, 20 – 24 de octubre 1997; 79-85.
- ▶ Strinfellow PA and Seider RD. *Manual of the international embryo transfer society*. 3 th ed. USA: Savoy, 1998.



LA TRANSFERENCIA DE EMBRIONES EN LA FMVZ-UNAM



La superovulación, colección y transferencia embrionaria en la especie caprina, empezó a practicarse en los diferentes centros de investigación, por medio del Departamento de Reproducción de la FMVZ.

En 1994, se inició el programa de rescate de la raza *Toggenbourg*, en el *CEIEPBC del rancho "Cuatro Milpas", este programa consistía en seleccionar cinco de las nueve cabras, y realizar, en ellas, la superovulación y la colección embrionaria. Los resultados fueron satisfactorios, pues se obtuvo un promedio de ocho embriones por colección, y los resultados de las gestaciones en las receptoras estuvieron dentro de los parámetros

mundiales. Actualmente, el hato se encuentra conformado con un 30.4 por ciento de hembras de dicha raza, y sigue incrementándose de manera gradual por manejos reproductivos como la sincronización y la inseminación artificial.

Durante el programa de desarrollo del hato Boer del *CEIEPAG, se realizaron casi una docena de colecciones, con las subsecuentes transferencias a las cabras Alpino-francés receptoras. Estas técnicas permitieron el aumento del número de semovientes de pie de cría, los cuales son la base genética de dicho centro.



En 1996, ante el inminente deterioro de la calidad genética y la avanzada edad del pie de cría restante en el CEIEPBC, se inició la reestructuración genética del hato. Con la adquisición de semen congelado de la raza Alpino-francés —que había demostrado mejorar la producción lechera en cantidad y calidad, y también la morfología de las cabras—, se realizó la inseminación de cabras superovuladas Alpino-francés

que demostraron buen comportamiento lechero. Los resultados de las técnicas de superovulación, colección (promedio de 8.6 embriones por colección) y transferencia embrionaria (72.5 por ciento de gestaciones) fueron buenos; se obtuvieron embriones de excelente calidad, algunos se transfirieron en fresco, y el resto congelados para su posterior utilización. El programa continuó, y en 1998 se obtuvo una excelente producción láctea como resultado de la combinación de ambos materiales genéticos. El rancho "Cuatro Milpas" cuenta con 64 semovientes de la raza Alpino-francés de excelente calidad.



Actualmente, el Departamento de Reproducción realiza programas de sincronización, inducción, superovulación y transferencia de embriones en los diferentes centros de enseñanza, producción e investigación de la FMVZ.

Información proporcionada por: Verónica Caballero Gutiérrez, José Luis Cerbón Gutiérrez y J. Alberto Balcázar S.

*Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Producción Bovina y Caprina.
*Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Producción Agrícola y Ganadera.



Hugo H. Montaldo Valdenegro

Ph.D. en *Animal Breeding and Genetics* (Universidad de Nebraska, EEUU, 1997), MPA en Genética Animal (1989) y Médico Veterinario Zootecnista (1980) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Su interés principal es la optimización de los programas de mejora genética de animales, la evaluación de nuevas biotecnologías en la mejora animal y la producción de bovinos y caprinos para la producción de leche. Actualmente es Profesor Titular de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM y Jefe del Departamento de Genética y Bioestadística. Participa en el diseño y operación de un programa de mejora genética de caprinos productores de leche para el Estado de Guanajuato.

La mejora genética de animales hoy ¿abriendo la caja de Pandora o la cueva de Alí Baba?

INTRODUCCIÓN

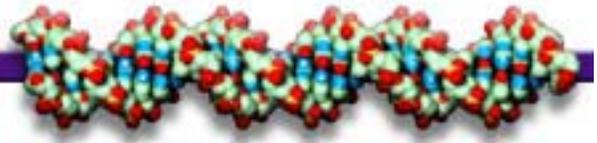
El concepto de **mejora genética de animales (MGA)** sugiere distintas imágenes en diferentes personas. En el plano 'práctico' surge la idea de usar y combinar las mejores razas de diversas especies de animales domésticos, sin preguntarnos acerca de la definición del término "mejores". En el plano 'científico', las ideas que aparecen con más frecuencia están relacionadas con los últimos avances de tecnología reproductiva y molecular, como la clonación (producción asexual de animales genéticamente idénticos) y el uso de marcadores genéticos del ADN (material depositario de la información genética de los organismos) para la selección. En realidad, la situación es diferente.

Este artículo pretende dar una visión general de la disciplina y describir algunos de sus métodos de trabajo e investigación.

UN INTENTO DE DEFINICIÓN PARA UNA DISCIPLINA NUEVA

Para la MGA se aplican principios biológicos, económicos y matemáticos, con el fin de encontrar estrategias óptimas y aprovechar la variación genética existente en una especie animal. Esto involucra tanto la variación genética entre los individuos de una raza, como la variación entre razas y cruza.

La MGA involucra procesos de evaluación genética y difusión del material genético seleccionado, en los cuales se pueden usar tecnologías reproductivas artificiales, como la **inseminación artificial (IA)**, la **ovulación múltiple** y **transferencia embrionaria (OMTE)**, la **fertilización *in vitro* de embriones (FIV)**, y el uso de **marcadores moleculares de ADN**.



Los dos principales problemas que nos formulamos en un programa de mejora genética animal son:

1. cómo definir el mérito (objetivo del programa) y;
2. cómo lograr este objetivo (sistema de evaluación, uso y difusión de la mejora a la población comercial).

Las dos herramientas primordiales de la MGA son la selección (determinar cuáles individuos van a dejar descendencia) y los sistemas de apareamiento (determinar cómo los individuos seleccionados serán apareados). Aunque estas herramientas, particularmente la selección, se han usado desde hace mucho tiempo, es en la segunda mitad del siglo XX cuando el hombre empieza a controlar y predecir estos procesos.

LA MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y LA GENEALOGÍA ANIMAL

La herramienta que más influye en el mejoramiento animal es el control de producción. En efecto, la medición objetiva de la producción animal sirve para seleccionar, evaluar las razas y cruza, estimar los parámetros requeridos para los programas, medir aspectos económicos y optimizar el proceso.

Anteriormente, los sistemas de control fueron simples e incluyeron sólo evaluaciones de cantidad (producción de leche, peso del vellón en ovejas, pesos corporales a determinadas edades en animales productores de carne); recientemente, las necesidades del mercado y el deseo de los productores de tomar decisiones con base en un conjunto de características estrechamente relacionadas con el valor económico de la producción, han incorporado características de calidad, como la cantidad de proteína en la leche, el área de músculo en diversos cortes de carne, la dureza, el porcentaje de grasa, etcétera. Algunas de estas características son difíciles o imposibles de medir en el animal vivo, por lo que son estimadas a través de métodos indirectos. También se evalúan, en los programas de mejoramiento, las características

relacionadas con la fertilidad, la sobrevivencia y la resistencia a las enfermedades. Últimamente, se ha intentado calcular las variables asociadas con los costos de producción: alimentos y medicamentos requeridos por el individuo evaluado. En general, los avances técnicos permiten realizar mediciones más precisas e incluir características que ayuden a conseguir los objetivos de los programas genéticos.

El control de producción está asociado, salvo en el caso de sistemas de producción extensivos en rumiantes, con un completo y riguroso control genealógico, éste implica el registro de los padres de cada animal, y permite estructurar el pedigrí necesario para el cálculo de coeficientes de parentesco utilizados en las evaluaciones genéticas y en el cálculo de coeficientes de consanguinidad.

Un aspecto fundamental en estos sistemas de evaluación es el control de calidad. Los errores, tanto en el registro de datos de producción como en el pedigrí, pueden afectar las tasas de mejoramiento genético y disminuir la confianza de los usuarios. Por este motivo, la participación coordinada de organismos oficiales (universidades, secretarías estatales) y privados (asociaciones de productores), ha sido importante para la aceptación de la información de campo como veraz y válida. El desarrollo de este tipo de programas históricamente se ha realizado en los países industrializados, de manera conjunta entre el gobierno y las organizaciones de ganaderos.

MODELOS LINEALES, COMPUTADORAS, INSEMINACIÓN ARTIFICIAL: LA EXPLORACIÓN DE LO INVISIBLE

El avance de la tecnología de cómputo, junto con el análisis de datos obtenidos en condiciones reales de producción, permitió la implementación de métodos eficaces para el cálculo de valores genéticos predichos (VGP), aprovechando la información del control de producción y de pedigrí; de manera que se puede considerar a dichas implementaciones una tecnología madura.

Esta metodología ha permitido avances en algunas especies, como el bovino productor de leche. Se estima que la producción promedio por vaca en Estados Unidos incrementa su producción en más de 100 kg de leche (aproximadamente 0.32 l/día) por razones genéticas. Ésto tiene, junto con el cambio en otras características, gran importancia económica para los productores y la industria,



ya que sus productos que han tenido mejora genética, (como la producción de leche, huevos, carne de cerdo y carne de pollo), son más consumidos en el mercado, debido principalmente a los costos de producción. Ésto se logra con el uso de animales superiores seleccionados a través de los VGP. Éstos se calculan con una metodología conocida como BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*, o mejor **predicción lineal insesgada**), de acuerdo con las propiedades teóricas de las soluciones.

Dos descubrimientos trascendentes que hicieron posible estos desarrollos, fueron las ecuaciones del modelo mixto de Henderson, que redujeron considerablemente las dimensiones de los sistemas de ecuaciones simultáneas para obtener los VGP; y la incorporación de las correlaciones en los valores genéticos animales al modelo, mediante la matriz de parentesco, que se construye a partir de la información contenida en el pedigrí. Al obtener estimaciones confiables de los VGP de animales en muchos rebaños —con ayuda

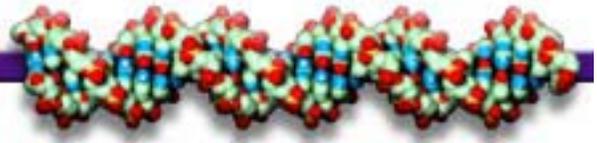
de la inseminación artificial— la industria por primera vez pudo comparar los valores genéticos de los animales de toda la población. Este proceso elimina la estructura jerárquica tradicional de los “hatos reproductores”, dado que los animales superiores se eligen en forma horizontal.

En otros casos, la estructura jerárquica se mantiene parcialmente por una falta de adopción de las técnicas modernas, por ejemplo en la producción de lana en Australia o en la producción de sementales de ganado de carne en Iberoamérica. En especies con elevada fecundidad y reducido costo por individuo, el alto número de prole por animal reproductor y los bajos costos de operación, permiten la centralización del proceso de mejoramiento en núcleos de empresas privadas que controlan las poblaciones de reproductores, como la de pollos de engorda, gallinas de postura y cerdos. Una población rigurosamente seleccionada abastece, en este caso, a un estrato multiplicador, capaz de proveer animales al estrato comercial. En cierto modo, una situación similar se puede crear en rumiantes, si se incrementa su capacidad reproductiva usando la transferencia embrionaria y la fertilización *in vitro*.

HOMO ECONOMICUS, OBJETIVOS DE SELECCIÓN, ¿HACIA DÓNDE VAMOS?

A pesar de que el argumento central de la mejora genética de animales es el económico, hay muchos problemas que se deben resolver antes de tomar a los criterios económicos como adecuados en el diseño de programas genéticos. Lo ideal sería que se conocieran con precisión los objetivos para el mercado futuro, así se podrían evaluar —sin error— los valores económicos asociados con cada componente de la respuesta, y seleccionar las características que se incluirían en el programa. Como ésto es imposible se necesita recurrir a aproximaciones en presencia.

El usuario del material genético puede tener una idea más o menos clara de los objetivos de selección, es decir, cuáles son las principales variables que se requiere maximizar



para incrementar el rendimiento económico (por ejemplo, la producción de kg de cordero por oveja) diseñar un modelo bioeconómico del sistema de producción para determinar en forma más precisa qué características se deben medir y cuáles son las ponderaciones económicas asociadas con ellas.

Si nos preguntaran si es recomendable para cada unidad de producción seguir un programa genético que haga máximos los retornos y que use ponderaciones específicas para las características, o si es mejor que la industria utilice un criterio uniforme de selección, nosotros apoyaríamos el segundo enfoque; ya que parece adecuado, porque los efectos del ambiente pueden ser, en cierta medida, optimizados y estandarizados (esto no es posible en sistemas de pastoreo, donde las fluctuaciones ambientales son parte del sistema).

En términos generales, aunque los incrementos de los rendimientos y calidad de los productos han llevado a una mejor utilización de los recursos en la producción animal, actualmente empiezan a incorporarse características que están ligadas con la reducción de los costos de producción. Un ejemplo es la incorporación de criterios de selección para resistencia a enfermedades, aunque generalmente tienen menores respuestas en la selección.

RAZAS, CRUZAS Y VALORES GENÉTICOS PROMEDIO DE ANIMALES CRUZADOS, SINTÉTICOS Y OTRO ANATEMA

Los modelos de evaluación genética se aplican generalmente a reproductores dentro de una población: una línea o raza de animales. Tradicionalmente, la selección y el cruzamiento se consideran estrategias separadas para el mejoramiento genético. El uso de cruzamientos es muy común en especies productoras de carne, donde se desea que las líneas de hembras sean fértiles y relativamente ligeras para reducir los costos de mantenimiento, mientras que los animales dedicados a la engorda deben ser de rápido crecimiento, lo que muchas veces se asocia con una menor fertilidad y mayor peso adulto.



Mediante el cruzamiento de una línea (raza) ligera de hembras con una línea (raza) de machos de rápido crecimiento se puede optimizar el sistema, con lo que se balancea el mérito genético del crecimiento y el de las necesidades de mantenimiento de las hembras. Con la cruce de hembras se obtiene mayor fertilidad y ventajas cuando se usan como madres. Otro aspecto muy importante del cruzamiento, reside en el fenómeno llamado **heterosis** o **vigor híbrido**, este fenómeno permite explotar el hecho de que diferentes *alelos* se fijan en diversos *loci* en razas distintas. Al cruzar dos razas, podemos esperar un incremento en la heterocigosis, es decir, en la proporción de *loci* heterocigóticos comparados con los valores dentro de cada raza. Generalmente, este incremento provoca un mayor rendimiento productivo, una mayor fertilidad y una mayor tasa de sobrevivencia. Este vigor híbrido, o heterosis, se explica con teorías que postulan tanto efectos genéticos de dominancia como de epistasia. A nivel teórico, un animal que contiene dos tipos alternativos de genes es superior en su capacidad de adaptación al medio ambiente. La depresión observada por **consanguinidad** es la 'otra cara' de la heterosis, dado que el incremento en el coeficiente de consanguinidad se asocia con una pérdida de heterocigosis.

En especies de gran fecundidad, como las aves y los cerdos, el uso de las ventajas de los cruzamientos se basan

en la cría de animales de raza pura o bien, en sistemas de cruzamientos que, al reemplazar las razas de los machos permiten mantener altos los niveles de heterosis. En bovinos y ruminantes esta estrategia no es fácil de usar por su baja prolificidad, que restringe el número de animales cruzados comparados con el total de raza pura. Por esto se han desarrollado muchas razas o poblaciones sintéticas, que son producto de diversos cruzamientos entre varias razas. El objetivo busca aprovechar la heterosis y realizar la selección en una sola población; asimismo, en muchos casos se trata además de combinar características deseables que se encuentran en poblaciones diferentes, como la adaptación a medios ambientes difíciles y la capacidad de producir con mayor eficiencia. Un ejemplo en bovinos es la raza Santa Gertrudis que se desarrolla a partir de cruzamientos entre las



razas Shorthorn (*Bos taurus*) y Brahman (*Bos indicus*); en este caso se trató de combinar la mejor calidad de la carne, la fertilidad del Shorthorn, con la mayor tolerancia al calor y a las garrapatas del Brahman. Los principales problemas que limitan la difusión de razas sintéticas son la poca aceptación que de ellas tienen los granjeros en muchos casos, lo pequeño de las poblaciones, que lleva a incrementos notables en la consanguinidad, con lo que se pueden perder las ventajas de la heterosis, y ofrecer pocas oportunidades para lograr mejoras importantes por selección.

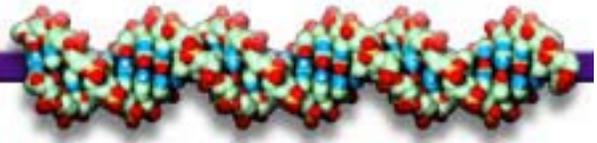
Una idea más nueva y posiblemente más práctica para explotar las diferencias de razas, consiste en el cálculo de

VGP de animales cruzados. Esto se puede lograr corrigiendo las diferencias entre las medias, de cada raza, y la heterosis, de este modo se obtienen comparaciones entre razas, que permiten seleccionar animales dentro de poblaciones. Dado que algunos efectos se estiman a partir de las bases de datos existentes, es posible aprovechar estas ideas para hacer evaluaciones simultáneas de los valores genéticos dentro de la raza, los efectos de raza y de la heterosis, con la idea de optimizar el sistema. En muchos casos, sin embargo, es necesario diseñar cruza específicas para obtener la información requerida.

OPTIMIZEMOS; MÉTODOS BENÉFICOS DE APAREAR ANIMALES

No es obvio, por ejemplo cuántos y cuáles animales se deben utilizar en un programa genético, ni cuánta progenie se obtiene de cada uno, o si es económicamente viable obtener embriones de una vaca con transferencia de embriones. Contestar este tipo de preguntas con precisión no es fácil, aunque recientemente, con el desarrollo de metodologías de maximización muy flexibles basadas en algoritmos genéticos, se pueden obtener resultados más cercanos a lo necesario. Se han desarrollado y comenzado a aplicar en la industria estrategias llamadas 'tácticas', que permiten optimizar problemas complejos usando como 'entradas' índices económicos obtenidos con los VGP, el pedigrí y los costos de reproducción, en cada momento de decisión (por ejemplo cada año antes de realizar los apareamientos). Este tipo de estrategias, que maximizan una función que involucra la respuesta genética se pueden instrumentar mediante la selección y asignación de apareamientos.

Algunos trabajos pioneros están siendo desarrollados en este campo, que consideran estructuras de apareamiento óptimas para el conjunto de machos y hembras de la población. Las soluciones se obtienen con el uso de algoritmos genéticos, metodología matemática de optimización de problemas con muchas variables,



lo que permite la maximización de la respuesta para niveles predefinidos de consanguinidad. Cuando se trata de poblaciones cruzadas, se pueden diseñar estrategias específicas de maximización de los efectos de heterosis.

USO DE TECNOLOGÍA REPRODUCTIVA Y MOLECULAR; EL FUTURO YA LLEGÓ

Las técnicas moleculares ofrecen muchas posibilidades vistas como espectaculares para la mejora genética animal; empero, la materialización de estas expectativas requiere de la solución de un número importante de problemas técnicos para aprovechar toda la información disponible de un modo eficiente, reducir los costos de generación de información genómica y obtener estimaciones confiables de los efectos de los *loci* en efectos cuantitativos (LEC), de la aplicación de la selección asistida por marcadores (SAM) y de la información genómica en general para la mejora animal.



Un uso racional de las metodologías moleculares requiere el uso óptimo previo de los métodos 'tradicionales' de selección. El máximo provecho se puede obtener cuando estas técnicas se utilizan de manera integrada con tecnologías reproductivas, como la inseminación artificial, la colección y producción *in vitro* de embriones para acelerar el cambio genético: es decir, para hacer un uso provechoso de las nuevas tecnologías, se necesita tener poblaciones propias en programas de mejora.

Las características en que la aplicación de la SAM puede ser más efectiva son aquellas que se miden en la vida tardía del animal, o que son controladas por pocos pares de alelos. El primer ejemplo corresponde a la longevidad y las características de la canal en animales productores de carne,

y, el segundo, a la resistencia a ciertas enfermedades o defectos de herencia simple.

Se debe señalar que, probablemente, pasarán muchos años antes de que las tecnologías reproductivas y moleculares revolucionen el mejoramiento animal al grado de hacer innecesario el control de producción. Aunque esto resulta conceptualmente posible en la reproducción de células en cultivo —se usó la selección de las variantes deseables seguidas de clonación y multiplicación de la variante genética deseada—, conocimiento que permite este desarrollo (si este es posible) se tendrá que generar combinando información molecular con información fenotípica. Por otro lado, es poco probable que el control de producción se abandone completamente, dado que se mantiene como un medio de control para las expectativas y predicciones que se están cumpliendo en la práctica.

Las técnicas moleculares y otras técnicas analíticas pueden posibilitar la medición de nuevas características en los programas genéticos que estén relacionadas, en forma más estrecha, con los objetivos del programa de mejoramiento.

CONCLUSIONES

La evaluación de animales en base de datos de mediciones (fenotipo) y pedigrí para calcular los VGP, seguirán siendo la base del mejoramiento animal. Se esperan mejoras en los métodos para ponderar económicamente diferentes características para la selección, para maximizar la respuesta a los programas genéticos, y así controlar los costos y la consanguinidad con nuevas herramientas de análisis y optimización de problemas complejos y no lineales. Se espera la incorporación de nuevas características que se relacionen con los objetivos económicos y de selección.

Otros avances son la generalización de métodos para evaluar genéticamente poblaciones compuestas por diversas razas y cruza, y el desarrollo de métodos para incorporar la información genómica (marcadores moleculares de ADN), combinados con nuevas técnicas reproductivas basadas en la

manipulación de la fisiología reproductiva de los animales, gametos y embriones, en el diseño de programas más eficientes de mejora animal.

Tal vez, al posibilitar el análisis del efecto de genes específicos en caracteres de herencia compleja como los involucrados en el mejoramiento animal, los desarrollos de la biología molecular puedan ayudar a un mejor entendimiento de fenómenos no bien comprendidos aún, como la epistasis —interacciones entre alelos en distintos *loci*— y las interacciones genotipo ambiente.

GLOSARIO

Alelo. Forma particular de un gen en un *locus* específico.

Consanguinidad. La consanguinidad se produce cuando dos individuos emparentados producen descendencia. La progenie es entonces consanguínea. La consanguinidad produce pérdida de variación genética en una población, dado que pares de genes heterocigóticos se vuelven homocigóticos; pero incrementa la divergencia entre poblaciones.

Gametos. Células reproductivas; óvulos y espermatozoides.

Heterosis. Ventaja de los animales cruzados sobre los animales de raza pura.

Información genómica. La información genómica se obtiene directamente del análisis de la estructura del material genético de los animales (ADN).

Locí. Plural de *locus*.

Locus. Lugar específico del cromosoma en donde se ubica un gen.

Parámetros. Características de las poblaciones que se requieren para hacer las evaluaciones genéticas y calcular las ganancias esperadas por selección. Entre ellos están la heredabilidad (h^2), que expresa la proporción de la variación total explicada por las diferencias genéticas, y las correlaciones

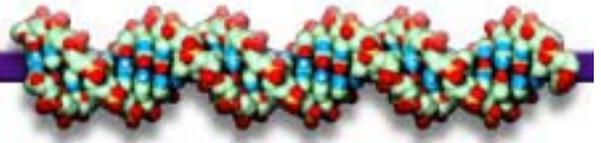
genéticas (r_g), que expresan el grado de asociación por efectos genéticos comunes a dos características.

Pedigrí. Lista que incluye la genealogía de todos los animales usados en la población como reproductores, o con datos disponibles. Generalmente está estructurado como animal, padre, madre.

LEC. *Loci* de efecto cuantitativo (*QTL* en inglés), son genes con efectos mayores en características afectadas por muchos *loci* con efectos generalmente pequeños (poligenes).

LITERATURA RECOMENDADA

- ▶ Cameron ND. Selection indices and prediction of genetic merit in animal breeding. Wallingford, UK: CAB International, 1997.
- ▶ Groen AF, Steine T, Colleau JJ, Pedersen J, Prybyl J, Reinsch N. Economic values in dairy cattle breeding, with special reference to functional traits. Report of an EAAP-working group. Livestock Production Science 1997; 1-21.
- ▶ Haley C. S. Livestock QTLs – bringing home the bacon? Trends Genet 1995; 12:488-492.
- ▶ Kinghorn BP. A view on future developments in animal breeding. Slides from a 1997 A.B. Chapman Lecture, University of Wisconsin, Madison. <http://ops.agsci.colostate.edu/~bkinghor/future/ppframe.htm>.
- ▶ Lynch, M. and Walsh, B. Genetic and analysis of quantitative traits. USA: Sinauer, Sunderland, 1998.
- ▶ Meuwissen THE. Goddard ME. The use of marker-haplotypes in animal breeding schemes. Genet Sel Evol 1996; 161-176.
- ▶ Miller SP. Goddard ME. The super breed approach to modelling additive and non-additive genetic effects between and within breeds in multi-breed evaluations. Proceedings of the 6th World Congress on Genetics applied to livestock production, Armidale NSW 1998; 97-100.
- ▶ Montaldo H, Barria N. Mejoramiento genético de animales. Ciencia al Día 1 (2). <http://www.ciencia.cl/CienciaAIDia/volumen1/numero2/>
- ▶ Mrode R.A. Linear Models for the prediction of animal breeding values. Wallingford, UK: CAB International, 1996.
- ▶ Nicholas FW. Introducción a la genética veterinaria. Ed. Acribia, Zaragoza: Acribia, 1996.
- ▶ Weller JI. Economic aspects of animal breeding. London, Chapman and Hall, 1994.



Rogelio A. Alonso Morales

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia -UNAM.
Departamento de Genética y Bioestadística.
Laboratorio de Genética Molecular.
3er edificio, Planta Baja, cubículo 3118.
Ciudad Universitaria, México D.F. 04510.
Tel: (52) 56-22-69-02; Fax: (52) 55-50-86-97
e-mail: ralonsom@servidor.unam.mx

Transferencia de genes en animales domésticos

INGENIERÍA GENÉTICA EN ANIMALES DOMÉSTICOS

Paralelamente a la clonación de embriones e individuos, se exploran las posibilidades de la ingeniería genética en animales domésticos. Uno de los ejercicios de la ingeniería genética es la transgénesis, a la que debemos entender como la transferencia de genes a una célula u organismo mediante la metodología de ADN recombinante. Ésta se ha desarrollado y aplicado en el ratón, en los últimos veinte años. Así, con la incorporación de un gen o un segmento de ADN (transgene) de origen distinto (que se introduce en el núcleo del huevo recién fertilizado), en su genoma, se genera un animal transgénico. Pero cuando se introduce un transgene en una célula, generalmente se integra al azar en uno de los cromosomas.

Debido a que ya se conocen las señales en el ADN que regulan la expresión de los genes en muchos tejidos, esta expresión se puede dirigir y transplantarse en un órgano determinado, como sería la glándula mamaria.

Un logro importante ha sido que, bajo condiciones apropiadas, la inserción del gen en el genoma se puede controlar para que ocurra en el sitio deseado, de manera que se pueda sustituir un gen nativo por el segmento de ADN transferido (*transgenesis dirigida* o *gene targeting*). Cuando la inserción del elemento genético (transgene) inactiva el funcionamiento de un gen se conoce como «*knock-out*». Esto se ha empleado en el ratón para evaluar el papel funcional de los genes.

APLICACIONES DE LA TRANSGÉNESIS EN ANIMALES DOMÉSTICOS

La introducción de un gen en el genoma de un individuo, y la oportunidad de regular su expresión en un tejido determinado, así como la sustitución de un gen nativo por otro modificado, conduce a una multitud de aplicaciones en la ciencia, la medicina y la biotecnología.

Una aplicación inmediata ha sido el estudio de la función de los genes, el entendimiento de cómo éstos participan en el desarrollo, y cómo se regula su

expresión. Con la información disponible en los proyectos genómicos, hay genes que cada día se identifican, pero de los cuales se desconoce su papel funcional. Si se inactiva alguno de éstos (*knock-out*) o se introduce una mutación, podríamos entender su participación en la bioquímica y la fisiología del organismo; lo que nos llevaría a desarrollar modelos animales de enfermedades humanas.

En la medida en que se van descubriendo genes y se entiende su participación biológica, se abre la oportunidad de emplear los productos de estos genes como fármacos. Para poder obtener grandes cantidades de productos genéticos, con fines de investigación o comerciales, se requiere que su producción sea en sistemas celulares, donde se puede dirigir la expresión de cualquier gen en determinados tejidos. Se han desarrollado métodos para emplear la glándula mamaria de varios animales domésticos como biorreactores y, así, ayudar a que la producción de proteínas recombinantes en la leche tenga aplicaciones farmacéuticas. Con esto obtendríamos, de forma muy eficiente, hormonas, factores de crecimiento, enzimas, antígenos, y demás. De igual manera, se pueden alterar las características de la leche, como la eliminación de la lactosa, o la inducción a la síntesis de proteínas lácteas humanas, para mejorar su calidad en la alimentación infantil.

Una aplicación de la transgénesis que se encuentra en intensa investigación es la posibilidad de usar órganos animales como fuente para trasplantes en pacientes humanos (xenotrasplantes); esto se está explorando, principalmente, en cerdos; se busca la eliminación de azúcares que desarrollen rechazo inmunológico en los pacientes. Otra opción es la 'humanización' de estos órganos, es decir, al expresar antígenos humanos en ellos, estos animales 'humanizados' se podrían usar, también, como fuente de células en algunos procedimientos terapéuticos.

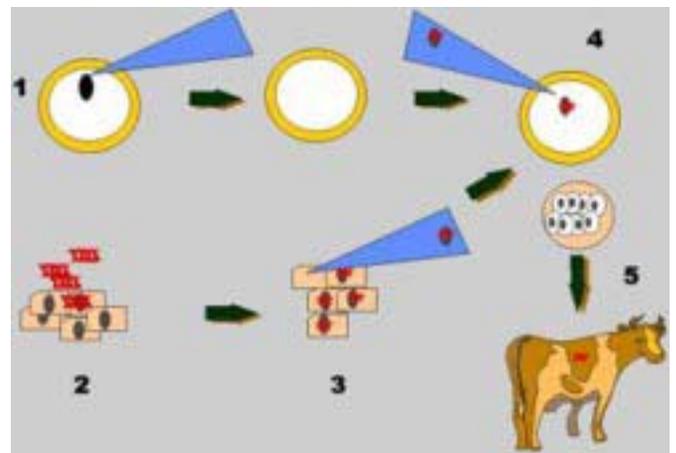
Adicionalmente, se pueden transplantar genes con el fin de modificar sistemas fisiológicos en los animales, y con la intención de incrementar sus niveles de productividad. Esto se consigue, por ejemplo, duplicando el número de genes

que producen proteínas lácteas, o incorporando rutas metabólicas para producir aminoácidos esenciales; sin embargo, estas posibilidades aún están en proceso de exploración experimental.

MÉTODOS DE TRANSGÉNESIS EN ANIMALES DOMÉSTICOS

La incorporación de un gen o un segmento de ADN (transgene) en el genoma de un individuo se realiza, comúnmente, a través de la microinyección de éste en el núcleo de un huevo recién fertilizado.

El transgene se puede introducir primero en células de cultivo; posteriormente, el núcleo de las células transgénicas se remueve y transfiere a un huevo receptor, al que se eliminó ya su núcleo. Esto permite seleccionar las células transgénicas que incorporaron el transgene en un sitio preciso del genoma o las que lo expresan adecuadamente.



Producción de animales transgénicos por transferencia de núcleos El núcleo de huevos recién fertilizados es removido por aspiración con una micropipeta (1), en este caso, a partir de células en cultivo (2) previamente modificadas genéticamente, se obtienen núcleos (3) que son transferidos a los huevos enucleados (4). Los embriones en desarrollo se transfieren a vacas receptoras (5) que paren individuos transgénicos.

La realidad es que, actualmente, estos logros espectaculares de propagación asexual de animales domésticos y de transferencia de genes, no son tan eficientes como para realizarse en el ámbito comercial. Los problemas más observados en embriones manipulados, tanto por la microinyección como por la transferencia de núcleos, son alta mortalidad embrionaria o, al nacimiento, «el síndrome



del ternero grande»; éste consiste en el crecimiento excesivo del animal, lo que lleva a problemas de parto; pero estos problemas están bajo investigación intensa, lo que permite suponer que se superarán las limitaciones técnicas presentes.

Así, podemos esperar que en un futuro cercano, aparezcan disponibles, en el comercio, embriones clonados provenientes de individuos altamente evaluados o transgénicos, los cuales vendrían en pajillas listos para transferirse a hembras receptoras (de forma muy parecida a como ahora se emplean embriones congelados).

GLOSARIO

Clonación. Reproducción asexual de una célula u organismo.

Clonas. Grupo de individuos genéticamente idénticos descendientes de un progenitor.

Transgénesis. Proceso de transferir genes de un individuo a otro.

Animal transgénico. Individuo que incorporó en su genoma un gen o segmento de ADN de origen distinto.

Transgénesis dirigida. La sustitución en el genoma de un gen por uno transferido. La inserción del gen se controla en un sitio definido del genoma.

Animal «knock-out». Individuo al que se le inactivó un gen mediante transgénesis dirigida

LITERATURA RECOMENDADA

- ▶ Bulfield G. Farm animal biotechnology. Trends Biotechnol. 2001; 18(1):10-3.
- ▶ Ward KA, Brown BW. The production of transgenic domestic livestock: successes, failures and the need for nuclear transfer. Reprod Fertil Dev 1998;10(7-8):659-65.
- ▶ Colman A. Dolly, polly and other 'ollys': likely impact of cloning technology on biomedical uses of livestock. Genet Anal 1999; 15(3-5):167-73.
- ▶ Eyestone WH, Campbell KH. Nuclear transfer from somatic cells: applications in farm animal species. J Reprod Fertil Suppl 1999;54:489-97.
- ▶ Rudolph NS. Biopharmaceutical production in transgenic livestock. Trends Biotechnol. 1999;17(9):367-74.
- ▶ Roslin Institute on line. Information on cloning and nuclear transfer. Disponible en el Web: <http://www.ri.bbsrc.ac.uk/library/research/cloning/cloning.html>.
- ▶ Pennisi E. and Vogel G. Animal cloning. Clones: a hard act to follow. Science 2000; 9: 1722-1727.
- ▶ Wilmut I, Schnieke A E, McWhir J, Kind A J and Campbell K H S. Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells. Nature 1997; 385 (810) :813.

EL LABORATORIO DE GENÉTICA MOLECULAR DEL DEPARTAMENTO DE GENÉTICA Y BIOESTADÍSTICA DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA-UNAM

Este laboratorio tiene como objetivos el desarrollo tecnológico y la investigación en el área de genética y biología molecular de animales domésticos. Dentro de las líneas de investigación, sobresale la evaluación de las características de los recursos genéticos en animales domésticos, la cual se realiza por medio de la medición de niveles de diversidad, y el estudio de los orígenes y relaciones que estén presentes en las poblaciones. Hasta el momento sólo se han estudiado criollas de cerdos y bovinos.

Nos interesamos, también, en identificar los genes que participan en rasgos complejos y que son importantes en la biotecnología y la biomedicina animal (resistencia a enfermedades, crecimiento, conformación esquelética, niveles reproductivos, depósito de grasa, y producción de leche).

Se está desarrollando una tecnología para ofrecer servicios de genética molecular a la industria animal. Con el fin de detectar, estudiar y conservar mutaciones genéticas en las poblaciones, promovemos un servicio de investigación de estos procesos; lo que nos permite obtener modelos animales para experimentos de enfermedades en el ser humano. Igualmente el laboratorio puede desarrollar trabajos en citogenética y en alteraciones cromosómicas en los mismos animales.

Por último, actualmente se desarrollan métodos para la producción de proteínas recombinantes con actividades antigénicas, y para la producción de anticuerpos policlonales y monoclonales; esto permitirá la obtención de productos biotecnológicos que prevengan enfermedades infecciosas.



Yvonne C. Ducolomb¹,

¹Departamento de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. D.F.

Fertilización in vitro y su aplicación en la producción de cerdos transgénicos

Salvador Romo² y Miguel Betancourt¹

Los estudios de fertilización *in vitro* (FIV) en mamíferos se iniciaron en el siglo XIX. Schenk incubó ovocitos de conejo y de cobayo con espermatozoides; observó la formación del cuerpo polar y, después de un determinado tiempo de cultivo, notó las primeras divisiones celulares. Desde entonces, muchos investigadores se han preocupado por el proceso de fertilización.

Los primeros animales procreados por medio de la FIV nacieron a mediados del siglo pasado, cuando los experimentos que Chang practicó con conejos tuvieron éxito.

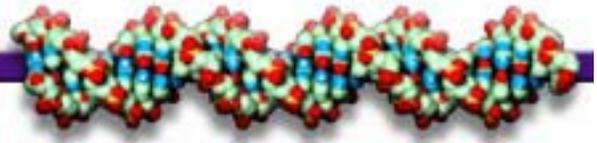
A partir de su aparición, la FIV ha sido útil en diferentes áreas de la reproducción asistida. En la investigación básica, por ejemplo, permite el estudio de mecanismos celulares y moleculares, éstos se realizan cuando los gametos interaccionan durante el proceso de fertilización.

En 1978, Steptoe y Edwards consiguieron con esta metodología el primer nacimiento de un ser humano; sin embargo, el progreso de esta tecnología en animales domésticos no se desarrolló tan rápido como en los mamíferos utilizados en laboratorios. Aunque en 1982 nació la primera ternera, por medio de esta técnica, en cerdos no se registró ningún nacimiento, sino años después.

La técnica de FIV en humanos surgió, inicialmente, como un tratamiento para resolver la infertilidad femenina producida por endometriosis, factor de infertilidad cervical o fallas ováricas; pero pronto se utilizó, con éxito, contra la infertilidad masculina y la inmunológica.

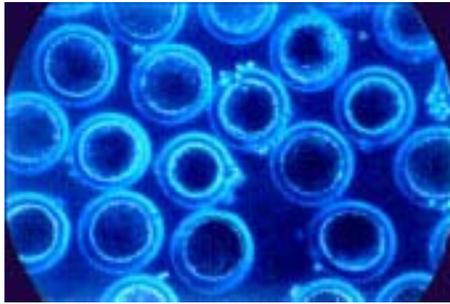
La FIV permite estudiar, en animales silvestres, los aspectos reproductivos que se podrían usar como medida para conservar especies en peligro de extinción; asimismo —dado que la disminución en la fertilidad se debe, posiblemente, a la incompatibilidad entre el macho y la hembra en el apareamiento, o bien, al estrés

²Departamento de Reproducción, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.



que produce el cautiverio—, ayuda a resolver problemas de reproducción de animales cautivos, que pueden padecer de subfertilidad o infertilidad.

La FIV ha contribuido, además, al avance de otras metodologías, como la micromanipulación, los estudios



Ovocitos maduros de cerdo con cuerpos polares

cromosómicos, trasplante nuclear o clonación, el sexado de embriones y su bipartición embrionaria para la producción de

gemelos idénticos. Además, permite obtener un gran número de cigotos y embriones en estado necesario para procedimientos experimentales.

En animales domésticos, la FIV sufrió un retraso en su desarrollo debido a las diferencias que existen en la capacitación espermática, la dificultad para lograr cantidades adecuadas de ovocitos maduros capaces de fertilización, y al bajo número de embriones obtenidos para transferirse a hembras. Sin embargo; la demanda de la FIV en diferentes especies de animales domésticos se ha incrementado a causa del desarrollo de nuevas técnicas biotecnológicas que permiten cambiar la naturaleza genética, como la transferencia nuclear y la de genes.



Ovocito de cerdo fertilizado, se observan dos pronúcleos y dos cuerpos polares

TRANSFERENCIA NUCLEAR EN EL CERDO

Se ha hecho la clonación de ovejas, vacas y cabras, empleando células somáticas. En el cerdo sólo dos grupos han reportado el nacimiento de lechones.

Después del nacimiento de las primeras crías, que se produjeron por medio de transferencia nuclear, ésta metodología ha resultado de gran interés para aplicarse en la investigación tanto básica como aplicada.

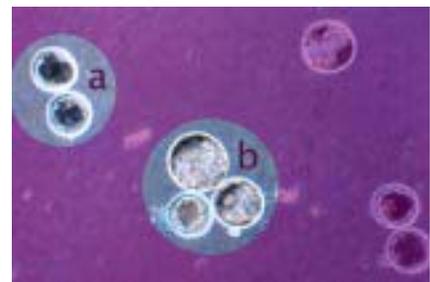
TRANSGENESIS EN EL CERDO

En la actualidad, ya es posible la creación de cerdos transgénicos. La microinyección de ADN se ha empleado exitosamente para modificar el crecimiento, el desarrollo y la producción de proteínas recombinantes en la leche y la sangre; con lo que se abre la posibilidad de que los cerdos produzcan proteínas de importancia farmacéutica para seres humanos. Otro uso de la transferencia de genes es incrementar la resistencia a ciertas enfermedades, y producir líneas de animales transgénicos.

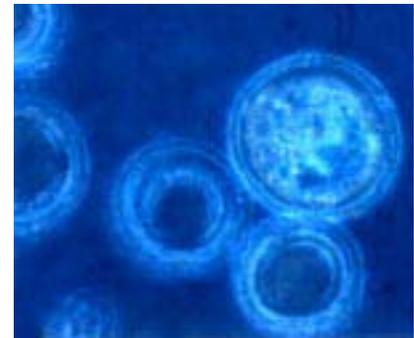
La microinyección de ADN en el núcleo del cigoto es, actualmente, el método disponible para realizar la transferencia de genes en el cerdo,

pero su eficacia es menor al uno por ciento en la obtención de animales transgénicos. Por otro lado, hay una disminución en la viabilidad de los cigotos, la capacidad de desarrollo de los embriones es baja, y menos del diez por ciento se desarrollan hasta mórula y blastocisto *in vitro*. En algunos casos, esto se puede atribuir al ADN extraño, ya que el número de blastocistos es más bajo que en los controles inyectados sin el ácido nucléico.

La transferencia de ADN mediada por espermatozoides es la alternativa a la microinyección. Es posible que, en aproximadamente el treinta por ciento de los espermatozoides de cerdo, se pueda transportar una cantidad considerable de ADN exógeno. La unión de estas moléculas no se



a) Embriones de cerdo en diferentes etapas de división. b) Blastocistos



Blastocisto de cerdo

presenta al azar en el espermatozoide, se unen generalmente a la cabeza en la región posacrosomal. Se ha encontrado que parte de la unión con el ADN podría internarse en la célula espermática y encontrarse en el núcleo.

El empleo de espermatozoides como vectores para la introducción de ADN en el ovocito, amplía la probabilidad de obtener cerdos transgénicos de manera más eficiente que mediante la microinyección; pero, hasta ahora, los resultados son controvertidos y requieren mayores estudios.

Con el fin de incrementar la eficiencia en la transferencia de genes para la obtención de cerdos transgénicos, se han obtenido líneas de células embrionarias provenientes de blastocistos debido a que son **totipotenciales**.

CRECIMIENTO Y DESARROLLO

En cerdos, la mayoría de los estudios de transferencia de genes se ha realizado con aquéllos que regulan el crecimiento. Algunos transgénicos que expresan el gen promotor de hormona de crecimiento bovino, ganan peso rápidamente y aumentan su eficiencia en la alimentación. La expresión de estos genes produce reducción en la grasa del lomo; sin embargo, la mayoría de los cerdos han mostrado sobreestimulación por la hormona de crecimiento durante el desarrollo temprano, y se ha asociado con diversos efectos secundarios, como la disminución del apetito, letargo, artritis, descenso en la fertilidad y alta incidencia de úlceras pépticas. Por otro lado, se ha observado que una modificación de la hormona porcina de crecimiento tiene efectos benéficos sobre importantes parámetros del crecimiento sin consecuencias colaterales adversas, por lo que estas líneas de cerdos transgénicos podrían ser una opción para la alimentación humana.

PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS RECOMBINANTES EN LA LECHE PORCINA

La glándula mamaria del cerdo se puede usar para producir proteínas recombinantes de uso farmacéutico. Se ha

conseguido la producción de cerdos transgénicos que tienen ADN con el gen para la proteína C humana en la leche.

PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS RECOMBINANTES EN SANGRE DE PORCINOS

Recientemente, se ha logrado obtener hemoglobina humana funcional a partir de cerdos transgénicos. Con la microinyección del gen de la globina B humana en cigotos y la transferencia de éstos a hembras receptoras, se ha logrado el nacimiento de lechones, de los que el 2.6 por ciento fueron transgénicos. Todos estos individuos expresaron el gen de la hemoglobina humana, y el producto obtenido pudo purificarse con una eficiencia casi perfecta, exhibiendo una afinidad con el oxígeno, tal y como lo hace la hemoglobina producida por el ser humano.

XENOTRANSPLANTES

Otra de las aplicaciones de la producción de cerdos transgénicos, es la posibilidad de que puedan emplearse como donadores de órganos para los seres humanos. El cerdo ofrece ventajas, pues produce un mayor número de crías, es de fácil crianza y manutención, y tiene gran similitud, en cuanto a sus características anatómicas, fisiológicas y bioquímicas, con el ser humano. Por ejemplo, el cerdo podría ser un modelo apropiado para solucionar una afección humana conocida como retinitis pigmentaria, debido a la similitud entre el tamaño del ojo del hombre y del cerdo.

En la actualidad, el mayor impedimento para el uso de órganos provenientes de cerdos es la **incompatibilidad inmunológica**, mediada por anticuerpos específicos dirigidos a los antígenos presentes en la superficie de las células endoteliales del cerdo; idealmente, estos antígenos podrían eliminarse con el empleo de genes que, a su vez, inactiven la expresión del gen codificador para dicho antígeno. Otra solución es la producción de cerdos modificados genéticamente para que produzcan proteínas inhibitoras que bloqueen la acción del complemento. Son proteínas presentes



en la sangre, que se activan al reconocer algún elemento no propio del organismo.

Aunque todo lo anterior tiene implicaciones éticas, ofrece ventajas para el mejoramiento de la salud humana que deben evaluarse cuidadosamente.

INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A ENFERMEDADES

Los animales modificados genéticamente pueden ser una propuesta para incrementar la resistencia a ciertas enfermedades. Se pueden transferir genes de resistencia que produzcan ARN contra virus, genes que codifiquen anticuerpos monoclonales específicos, o genes que conformen linfocinas o receptores de linfocitos T.

Se han hecho estudios para incrementar la resistencia de los cerdos hacia la influenza A, mediante microinyección en los genes de ratón; sin embargo, su expresión durante la embriogénesis temprana ha sido perjudicial para el desarrollo subsecuente. Además, no está claro si la expresión transgénica de la proteína incrementa la resistencia natural contra el virus de la influenza. La producción de cerdos transgénicos, resistentes a ciertas enfermedades, requiere estudios más avanzados para así vencer los obstáculos que se han presentado; sin embargo, es importante considerar los beneficios que se obtendrían al lograr éxito con estas investigaciones.

En nuestro país, la cisticercosis es una enfermedad que afecta tanto al hombre como al cerdo; éste último es el huésped intermediario; la susceptibilidad del cerdo a esta parasitosis podría disminuir gracias a la producción de cerdos transgénicos resistentes a esta enfermedad.



Actualmente, existe una estrecha colaboración entre el laboratorio de Inmunología del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM, el Departamento de Reproducción y el de Producción Animal: Cerdos, (ambos de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM) y el laboratorio de Biología Celular del Departamento de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, para crear cerdos transgénicos resistentes a la cisticercosis.

Desde hace varios años, en el Instituto de Investigaciones Biomédicas se realizan estudios acerca de la relevancia de los factores genéticos en la susceptibilidad a la cisticercosis. En el laboratorio de Inmunología del citado instituto se ha utilizado un modelo experimental de cisticercosis murina en diferentes cepas de ratones; con esto se ha encontrado que el gen Q9,

perteneciente al complejo principal de histocompatibilidad (CPH), está asociado con la resistencia a la cisticercosis. Con este gen se creó el primer ratón transgénico



producido en México y se confirmó la relevancia del gen Q9 para el control de la parasitosis. Este gen codifica la proteína Qa-2, clasificada dentro del grupo del MHC y expresada en linfocitos T. Al desarrollar dos líneas de ratones TgQ9, se observó una reducción en la carga parasitaria. Para el desarrollo de cerdos transgénicos es importante evaluar la relevancia del gen Q9 en el control de la cisticercosis porcina.

La obtención de embriones en forma natural se dificulta en la producción de cerdos transgénicos, por lo que es importante lograr la obtención de éstos por medio de la FIV, pudiendo ser microinyectados y transferidos a las hembras. Para llevar a cabo este propósito, en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM se desarrolló una unidad de experimentación que transfiriera los embriones producidos por FIV en el laboratorio de Biología Celular de la UAM-I.

Como producto de la colaboración de las tres instancias, se logró, por primera vez en México, el nacimiento de dos lechones por maduración, fertilización *in vitro* y transferencia embrionaria, paso preliminar para producir cerdos transgénicos resistentes a la cisticercosis.

Para continuar las investigaciones de la transferencia de genes a cerdos, la FIV es de gran importancia; sin embargo, existen pocos reportes de lechones que nacieran vivos habiendo sido engendrados en ovocitos madurados y fertilizados *in vitro*. Por esto, se deben elucidar las técnicas más adecuadas para incrementar el éxito de esta búsqueda. La ventaja de madurar ovocitos *in vitro* es que, a partir de cientos de ovarios de cerdas sacrificadas, se puede obtener gran número de ellos (y es posible controlar su maduración y su fertilización).

Actualmente, se siguen realizando investigaciones para mejorar las condiciones de maduración y FIV en ovocitos de cerdo, para obtener resultados más constantes y reproducibles; de esta forma se logrará obtener más cigotos que puedan microinyectarse con genes deseados. Además, se requiere mantener las condiciones de cultivo adecuadas para, con el desarrollo, aumentar el número de embriones viables que puedan transferirse, incrementando así el porcentaje de cerdos transgénicos nacidos.

Debemos concluir que el uso de biotecnologías modernas, como la FIV, la transferencia nuclear y la transgénesis, es de gran

utilidad para mejorar y hacer más accesibles los productos biológicos destinados a la salud y la alimentación del ser humano.

GLOSARIO

Blastocisto. Estado del desarrollo embrionario temprano de los mamíferos. Consiste en una masa interna de células que originará los tejidos del cuerpo más una capa exterior que dará origen a la placenta.

Blastómero. Célula que se forma durante la segmentación del embrión.

Cigoto. Célula que resulta de la fusión de dos gametos. Óvulo fecundado.

FIV. Fertilización que se realiza fuera del organismo, en condiciones de laboratorio.

Proteína recombinante. Proteína codificada a partir del ADN recombinante.

LITERATURA RECOMENDADA

- ▶ Gandolfi F. Sperm-mediated transgenesis. *Theriogenology* 2000; 53:127-137.
- ▶ Polejaeva IA, Campbell KHS. New advances in somatic cell nuclear transfer: application in transgenesis. *Theriogenology* 2000; 53:117-126.
- ▶ Betthausen J, Fosberg E, Augenstein M, Childs L, Eilertsen K, Enos J, *et al.* Production of cloned pigs from *in vitro* systems. *Nature Biotechnology* 2000; Oct 18(10):1056-1059.
- ▶ Niemann H, Richelt B. Manipulating early pig embryos. *J Reprod Fert. Suppl.* 1993; 48:75-94.

Fotos proporcionadas por Yvonne C. Duclomb

LABORATORIO DE FERTILIZACIÓN *IN VITRO* DE LA FMVZ-UNAM

El Departamento de Reproducción cuenta con el Laboratorio de Fertilización *In Vitro* (FIV) para realizar su investigación. A principios del presente año, gracias al financiamiento de CONACYT, PAPIIT y UNAM/BID, se adquirió equipo que ha permitido la apertura de nuevas líneas de investigación, las cuales se enfocan al estudio de la maduración de ovocitos, la criopreservación de tejido ovárico y la evaluación de los factores que afectan el desarrollo embrionario temprano. Asimismo, se posibilitó el trabajo con cultivos celulares para explorar el efecto de diferentes hormonas sobre la función ovárica. En un futuro se proyecta la producción de embriones para su transferencia a hembras receptoras en el campo.

De esta manera el laboratorio de FIV constituye un espacio, a través del cual, la Universidad promueve y desarrolla investigación de alto nivel.

Información proporcionada por Carlos G. Gutiérrez Aguilar y Arantza Lassala Irueste.
Fotos: Arantza Lassala Irueste.

EL DEPARTAMENTO DE REPRODUCCIÓN DE LA FMVZ PONE A TU DISPOSICIÓN LOS SIGUIENTES SERVICIOS:

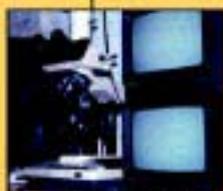
EQUINOS:

- Congelación de semen
- Inseminación artificial
- Examen andrológico
- Patología reproductiva
- Diagnóstico de gestación



CANINOS:

- Evaluación andrológica
- Diagnóstico de gestación por ultrasonido
- Inseminación artificial
- Monitoreo citológico



OVINOS Y CAPRINOS:

- Programas de sincronización de estros e inseminación artificial
- Transferencia de embriones
- Examen andrológico
- Diagnóstico de gestación



BOVINOS:

- Congelación de semen
- Inseminación artificial
- Examen andrológico
- Patología reproductiva
- Diagnóstico de gestación por ultrasonido



TE ESPERAMOS DE LAS 9 A LAS 18 HORAS DE LUNES A VIERNES
CIRCUITO EXTERIOR, CIUDAD UNIVERSITARIA
MAYORES INFORMES A LOS TELS: 65225860 Y 56225935



Los padres de la Genética

Una de las ciencias más relacionadas con el estudio del parentesco es la Genética, y de manera paradójica, no tenemos bien claro quien es el padre de esta ciencia. Algunos dicen que es Gregorio Mendel, pero ¿qué no era sacerdote? Se supone que no pueden tener hijos ¿o sí? Y luego, ¿qué pasó con las importantes aportaciones de otros científicos? En fin, para no meternos en problemas de pruebas de paternidad, decidimos hacer una semblanza de algunos de los que, con sus descubrimientos, han hecho de la Genética lo que es en la actualidad.

L.E.H.D

BIOGRAFÍAS



Karl von Linneo (1707-1778). Médico y naturalista sueco. Sus catálogos incluyen 500 plantas y 4000 animales. Su principal aporte es la nomenclatura binomial (la cual surgió del perfeccionamiento de un sistema presentado en Suiza durante el siglo XVII).

Linneo fue el primer científico que ubicó al hombre entre los primates con el nombre de *homo sapiens*. Durante su trayectoria sostuvo que los seres vivos no sufren cambios a lo largo de su línea filogenética; sin embargo, al final de su vida comenzó a experimentar dudas al respecto.



Jean-Baptiste de Monet, caballero de Lamarck (1744-1829). Naturalista autodidacta francés. Durante su estancia en el ejército, en su juventud, hizo sus primeros estudios de la flora. Escribió diversas obras, entre las que se encuentran “Flora francesa y Enciclopedia Botánica”. Lamarck sostuvo la teoría de que los organismos desarrollan sus órganos de acuerdo con las condiciones ambientales. Asimismo, afirmó que los caracteres adquiridos se transmiten mediante la herencia a las generaciones siguientes.



Charles Robert Darwin (1809-1882). Científico inglés que sentó las bases de la teoría moderna de la evolución con su concepto del desarrollo de todas las formas de vida a través del proceso lento de la selección natural. Su trabajo tuvo una influencia decisiva en las ciencias de la vida y de la tierra, y en el pensamiento moderno en general.



Darwin pasó de su vida desarrollando diferentes aspectos de problemas surgidos por el 'origen'. Sus libros posteriores, incluyendo *La variación de los animales y plantas bajo domesticación* (1868), *El descendiente del hombre* (1871), y *La expresión de las emociones en los animales y el hombre* (1872), fueron exposiciones detalladas de temas que se habían limitado a pequeñas secciones del 'origen'. Sus contemporáneos reconocieron la importancia de su trabajo.

Gregor Johann Mendel (1822-1884). Monje y botánico austriaco cuyos experimentos se convirtieron en el fundamento de la actual Teoría de la herencia.

Nacido el 22 de julio de 1822 en el seno de una familia campesina de Heinzendorf (hoy Hyncice,

República Checa), ingresó al monasterio de agustinos de Brünn (hoy Brno,

República Checa), reputado

centro de estudio y trabajo

científico. Más adelante

trabajó como profesor

suplente en la Escuela Técnica

de Brünn. Allí se dedicó

activamente a investigar la

variedad, herencia y

evolución de las plantas en un

jardín del monasterio destinado a sus experimentos.

Entre 1856 y 1863, cultivó y estudió al menos 28,000 plantas de guisante o chícharo, analizando con detalle siete pares de características de la semilla y la planta. Sus exhaustivos experimentos dieron como resultado dos principios que más tarde serían conocidos como leyes de la herencia. Sus observaciones lo llevaron a acuñar dos términos que siguen empleándose en la genética de nuestros días: dominante y recesivo.



Mendel publicó su obra de la herencia más importante en 1866, pero obtuvo reconocimiento hasta 1900 por parte de tres investigadores, uno de ellos fue el botánico holandés Hugo de Vries, y sólo al final de la década de los veinte y comienzo de los treinta se valoró su importancia, en especial en lo referente a la teoría evolutiva.

Como resultado de años de investigación de la genética de poblaciones, se pudo demostrar que la evolución darwiniana podía describirse en términos del cambio en la frecuencia de aparición de pares de genes mendelianos en una población durante generaciones sucesivas.

Los experimentos posteriores de Mendel con la *Hieracium vellosilla* no fueron concluyentes debido a la presión de otras ocupaciones; en la década de 1870 había abandonado ya sus experimentos de la herencia. Murió el 6 de enero de 1884 en Brünn.

August Weissmann (1834-1914). Biólogo alemán.

Fue el primero en atribuir a los cromosomas la función de transportar los elementos hereditarios.

Enunció los principios del estudio

experimental de la variación.

También vislumbró el proceso de meiosis. Sus teorías son el punto de partida neodarwinista en la biología.

Thomas Hunt Morgan (1866-1945). Biólogo y genetista estadounidense, descubrió cómo se transmiten los genes por medio de los cromosomas y confirmó las leyes de la herencia del botánico austriaco Gregor Mendel, sentando las bases de la genética experimental moderna.

Nacido en Lexington, Kentucky, estudió en el State College de Kentucky, y más tarde estudió embriología en la Universidad John Hopkins, donde se doctoró en 1891. Como catedrático de zoología experimental en



la Universidad de Columbia de 1904 a 1928, se mostró escéptico respecto a la teoría mendeliana, ya que aún no había sido demostrada físicamente.

Morgan continuó sus experimentos y demostró en su Teoría de los genes (1926) que éstos están unidos en diferentes grupos de encadenamiento, y que los alelos (pares de genes que afectan al mismo carácter) se intercambian o entrecruzan dentro del mismo grupo. En 1933 Morgan obtuvo el Premio Nobel de Fisiología y Medicina.



Francis Crick, biofísico inglés nacido el 8 de junio de 1916, y **James Watson**, biólogo nacido en 1928. Estudiaron el ácido desoxirribonucleico para conocer su estructura, así como el proceso exacto de la herencia. Descubrieron que el ADN está formado por una doble hélice de citosina, timina, guanina y adenina, con una doble estructura de azúcares y fosfatos. Su descubrimiento explica cómo se divide una célula en dos copias idénticas de sí misma, y cómo se almacena la información genética en los genes.



Arca de Noé. En Colombia clonarán cerdos modificados con genes

22/sep/01 La Crónica. Sección: Ciencias.

Científicos colombianos crearán, por clonación y modificación genética, la primera camada de cerdos, en marzo de 2002; esto supone un primer paso para combatir enfermedades humanas, según Elkin Lucena, director del proyecto.

Con el programa denominado «Arca de Noé», se pretende la clonación de cerdos modificados con genes humanos, lo cual haría posible, en el futuro, la realización de trasplantes de órganos de estos animales a humanos, conocidos como xenotrasplantes.

«La medicina humana y la animal no pueden continuar separadas y deberían fusionarse en el futuro. Creemos que a través de cerdos transgénicos nos podemos acercar a estudios avanzados para el beneficio humano, en lo referente a la prevención y manejo de enfermedades», explicó Lucena, quien se hizo famoso por lograr, hace casi dos décadas, el nacimiento de la primera 'bebé probeta' en América Latina, y por promover campañas de fertilización a partir del laboratorio.

El proyecto, en el que intervendrán quince científicos colombianos de formación multidisciplinaria, busca, según el especialista, «producir una proteína específica para el beneficio humano», que sería utilizada en estudios para la prevención de enfermedades como la diabetes y la hemofilia A y B. «Ese es nuestro objetivo final: llegar a aportar un avance en el campo de la salud para manejar enfermedades de origen genético a través del embrión, y que hemos llamado medicina del embrión».

En la investigación colabora Jorge Piedrahíta, conocido por ser el líder de un equipo que adelanta en Estados Unidos la creación del primer zoológico de animales clonados.

Con auspicio económico de carácter privado, el proyecto también busca «el mejoramiento de los cerdos y su calidad en las carnes».

Novedosa técnica. Ahora ya es posible elegir el sexo de los animales

6/oct/01 La Crónica. Sección: Ciencias.

Científicos australianos exigieron comercializar la técnica para seleccionar el género de los animales, después de determinar exitosamente el sexo de 25 corderos antes de la concepción, lo que anuncia un posible fin a la muerte masiva de animales por su género.

Los saludables corderos, de 19 semanas de edad, son la primera creación en Australia mediante la selección de cromosomas, masculinos o femeninos, en el espermatozoides. Los investigadores de la Universidad de Sydney, junto con la compañía de biotecnología XY de Estados Unidos, lograron una certeza casi total para manipular el género de los corderos, según afirmaron.

La nueva técnica en la selección del sexo podría aumentar la eficiencia de la industria que cría a la mitad de animales, para obtener ganancias anuales por ganado global, y la crianza de caballos y puercos. También podría detener la muerte de una gran cantidad de animales de granja que nacen con el sexo no deseado, calificado por los especialistas como 'injusto'. La industria de la lechería, por ejemplo, sólo necesita hembras. El resultado en Gran Bretaña es la muerte anual de 600 mil machos nacidos, señalaron los investigadores.

La tecnología tiene la aplicación adicional para las especies en peligro. «Los avances en la ciencia son normalmente pequeños, pero de incremento —dijo Herman Raadsma, director del Centro Universitario de Tecnologías Avanzadas en Genética Animal y Reproducción—; pero alguna que otra vez hacemos descubrimientos mayores que tendrán un resultado importante en la manera como hacemos las cosas».

La técnica implica el congelamiento y descongelamiento del espermatozoides para que, a través de inseminación artificial, se administren pequeñas dosis del semen clasificado.

Determinar el sexo de los animales se ha logrado antes en muchas especies, incluso en corderos, usando el espermatozoides fresco.

Sólo con el congelamiento su aplicación comercial es posible, dijo Chris Maxwell, líder del equipo de investigación.

Destino: Monte Ararat, la historia que pudo ser...

Enrique Basurto Argueta

Ese día el paisaje no era el mismo; congregados en un claro los animales mantenían la expectativa; sobre un templete recién construido aparecería el jerarca máximo y su selecto grupo de funcionarios. El lema “la selva unida, jamás será vencida” se leía detrás del estrado.

Abajo, cada especie se mantenía separada en grupos, dejando en claro que no hay nada mejor que una catástrofe para unir voluntades, pero que, por encima de ello, siempre serán marcadas las diferencias de clases y las aspiraciones de grupo.

Poco a poco el claro se llenaba de más animales que, presurosos, concurrían a la cita. No obstante, un grupo de mandriles mantenía libre una pequeña área, mientras el resto de los animales elucubraba sobre para quién se estaba reservando dicho espacio; algunos, con tono de soberbia seguridad, declaraban que ahí amenizaría un conjunto, ya que el jerarca gustaba de dar circo al pueblo.

Los minutos pasaban, los animales comenzaban a impacientarse: los chimpancés chiflaban y aventaban cáscaras de plátano sobre los otros animales, mientras las hienas se reían ante cualquier simpleza y las cacatúas inundaban el ambiente con sus gritos. Algunos ñúes se retaban con sus astas y las gacelas miraban con recelo a los guepardos. Justo en ese momento, hacían su entrada al claro —resguardado por los mandriles— todos los animales domesticados, quienes, a su vez, eran criticados por los animales silvestres, los abucheos no se hicieron esperar y, entre gritos de “¡Vendidos! ¡Vendidos!”, tomaban su lugar frente a la tribuna. De pronto un majestuoso rugido calmó a todos los asistentes; en el estrado hacía su entrada triunfante el león, flanqueado por su selecto grupo de colaboradores: el elefante, opulento secretario de gobierno; el búho,

taciturno líder del parlamento; y el gorila, a cargo de los cuerpos de seguridad. Todos tomaron su lugar, mientras el león, conocedor de las masas, dejaba pasar unos segundos de expectación y los murmullos se debilitaban hasta prevalecer el silencio. Otro feroz rugido estremeció a los espectadores; el majestuoso felino entonaba la voz: «Animales del mundo, os he convocado aquí para tratar asuntos de extrema seguridad animal; hasta mí han llegado testimonios de algunos de ustedes donde me hacen saber que nuestras hembras están en peligro, debemos poner un '¡hasta aquí!'». El público estremecido ante la capacidad histriónica del jerarca, aclamaba a su líder lanzando coros de "¡Duro! ¡Duro! ¡Duro!", "¡León, amigo, la selva está contigo!" El león arremetía encendiendo aún más los ánimos de la concurrencia: «Estamos viviendo en un estado de extrema emergencia; un fanático de dos patas ha estado abusando de nuestras hembras para cometer estupro, en perjuicio de nuestra 'zoociedad'». En ese momento, todos los animales voltearon a ver al gorila, que tenía fama de golpeador y abusivo, lo cual turbó al jefe de seguridad del león— «El demente al que me refiero ha estado convenciendo a nuestras hembras para acudir a su guarida, les ha hecho insinuaciones obscenas y se ha atrevido a tocarlas!» "¡Justicia, justicia!" era el clamor general. «Por tal motivo, he decidido salvaguardar los intereses de nuestra comunidad y he dispuesto que todos vayamos a acabar con esta amenaza contra la moral y la familia, a fin de terminar con estos actos de 'barbarie' cometidos contra nuestras hembras». La respuesta popular no se hizo esperar y el grito de "¡Duro! ¡Duro! ¡Duro!" hacía retumbar de nuevo la selva. El león arremetió: «Ahora mismo es el momento de enfrentar los retos de nuestra región y acabar con el ser que quiere terminar con nuestra

comunidad: ¡marchemos hasta su guarida!». Algo quedaba muy claro, el león tenía miedo de perder su supremacía sobre los animales, por ello los utilizaba para acabar con la amenaza; no cabía duda: estaba hecho para el puesto. Para no perder su mejor momento, luego del mitin, la comisión salió con rumbo a la costa donde moraba el insolente que había osado mancillar la virtud de las hembras. La muchedumbre lo seguía envalentonada.

Casi al llegar al sitio donde moraba el insano personaje, el león comenzó a retrasarse metiéndose entre el rinoceronte, el elefante, el hipopótamo y el gorila; la comitiva comenzó a caminar a paso cada vez más lento: a lo lejos empezó a divisarse la figura de un hombre entrado en años que construía su casa: «¡Ése es! ¡ése es el que me manoseó!», gritaba una cacatúa. Al ver la inofensiva y anciana figura del hombre, y para no perder la admiración del resto de los animales, el león, de un salto, se puso al frente de la caravana, pero al ver el martillo que empuñaba se agazapó acomodándose para salir corriendo o atacar.

El anciano que martillaba, al percatarse de la llegada de la comitiva, sonrió afablemente y, con porte noble, se dirigió al grupo: —Bienvenidos sean todos ustedes: esta es su casa. —¡Yo soy el rey de todos los animales!, clamó el león dando un salto. —Mi hogar se enorgullece de tu visita, ¡oh soberano! Lamento que la casa que construyo sea tan pequeña y que no pueda invitar a todos a pasar, pero si me haces el honor, las puertas de mi casa están abiertas para ti.

El felino, curioso y temeroso, llamó al gorila, al elefante, al hipopótamo y al rinoceronte, se dirigió al anciano: —No te preocupes, con mi comitiva puedo entrar y revisar—. El resto de los animales permanecía a la expectativa mientras los otros ingresaban.

Dentro de la vivienda la comitiva fue agasajada por el venerable anciano, que no dejaba de alabar al

león. Después de las viandas, el león en tono crítico preguntó a su anfitrión si acosaba a las hembras, a lo que éste contestó: —Lamento profundamente que mis estudios hayan provocado esta confusión, majestad; nunca pensé que esto pudiera causarles intranquilidad o daño. Si usted lo manda, ofreceré disculpas públicas a su pueblo. —El león, más confiado y sabiéndose dueño de la situación, preguntó cuáles eran esos estudios de los que hablaba el anciano, a lo que éste respondió: —Ante todo, soy un amante de la naturaleza, me gusta disfrutarla y contemplarla, pero también me agrada retribuir lo que generosamente nos ofrece, por ello, busco conocer las características de cada animal, llevar registros, conocer sus etapas productivas, aprovechar sus capacidades y favorecer sus aptitudes. El león, que por algo tenía colmillo, incrédulo, preguntó: —¿Y tú que ganas con todo esto? Nunca he confiado en individuos de tu especie. —Ciertamente, querido soberano, no gano nada: puedes ver mi hogar, está a medio construir, no puedo tener un espacio para realizar mis investigaciones, ni aun para vivir dignamente, además, como puedes darte cuenta, ya soy un viejo y todos mis estudios sobre reproducción habrán de perderse. He pensado en renunciar a mis trabajos y eso es una pena, creo que te habría servido saber cuántas gacelas tendrías para casar, cuántos hijos podrías engendrar, cuál de los leones de tu tribu puede tener mejor potencial genético y... —¿Cómo está eso?, ¿tú podrías decirme quién puede llegar a ser mejor león que yo y retarme por mi puesto? —Por supuesto que sí, y eso no es todo, también podría decirte cuáles hembras tendrían los hijos más fuertes, cuáles heredarían mejor tu capacidad, y lo mismo le podría decir al vigoroso gorila, al fornido rinoceronte, al apuesto hipopótamo y al inteligente elefante.

Los animales se miraron entre ellos, repentinamente vieron en el anciano la posibilidad de perpetuarse y

conocer a sus posibles rivales y también de reconocer a las mejores hembras. —¡Formidable!— exclamó el gorila, y el resto saltó de gusto, pero el león quería saber más: —¿Por qué no me pediste permiso antes de tocar a las hembras? ¿¡acaso no sabes que yo soy quien manda aquí!? —Reitero mis disculpas ¡oh, gran soberano! No volverá a suceder, he de retirarme de aquí sin volver a molestarlos. Súbitamente, el gorila empezó a secretarse con el elefante, el rinoceronte y el hipopótamo, y tras llegar a un acuerdo, a nombre del resto, le habló al oído al león: —Jefecito, ehh... ¿no sería bueno que este sujeto trabajara para nosotros? Lo digo porque, bueno: eso de saber cuál hembra está mejor dotada, pues, no nos cae nada mal ¿no le parece? El león también contestó en secreto: —Ya lo había pensado, idiota; pero quiero hacerlo a mi modo. Volviéndose al anciano, el león, adoptando una actitud de condescendencia, dijo: —Está bien, te permitiré que hagas todos los estudios que quieras, siempre y cuando me mantengas informado de todas las características de las hembras. —¡Cuánto me alegraría poder seguir con mis estudios y apoyarte! Pero ya lo he dicho, soy viejo, débil y sin ayuda no podré hacerlo. —¿Qué necesitas para continuar con el proyecto?, replicó el león. —No quisiera molestarte con esas cosas, gran soberano, será mejor que me vaya. —¡Insisto! Quiero que sigas adelante y me des informes de los animales, ¿qué necesitas para continuar? —Bueno, ya que eres tan generoso, necesito terminar mi casa, construir mi laboratorio y revisar a todos los animales, pero eso tomará mucho tiempo... —Te enviaré a los monos para que te ayuden a construir y a los animales de carga para que te ayuden a transportar todo lo necesario, pero necesito que te apures a checar a todas las hembras.

—Jefecito —volvió a decir al oído el impetuoso gorila—, y si organizamos un concurso de belleza para revisar de una vez a todas las hembras; total,



sólo un taco de ojo, ¿o no? —¡Cállate, estúpido!— refunfuñó el león y prosiguió— se me ocurre algo para ayudarte, noble anciano: convocaré a concursos de belleza donde podremos observar a todas las hembras y, por supuesto, los aquí reunidos seremos los jueces. Tanto el gorila como el elefante, el hipopótamo y el rinoceronte estallaron en júbilo: serían los jueces de un concurso de belleza. —Espléndida idea, ¡oh sabio soberano!

Luego de concretar detalles, la comitiva se despidió del anciano. Al regresar con el resto de los animales que esperaban impacientes, el león dio un informe: —Animales del mundo: tenemos conocimiento de una extraña enfermedad que está por afectarnos; el hombre ha venido a prevenirnos y ya he girado instrucciones a mi gabinete para que tomen las medidas precautorias ante esta emergencia zoonosológica; todos los animales y las animalas, animalillos y animalillas, habrán de ser examinados y examinadas en concursos de belleza, que además de salud, habrán de traernos diversión. —¡Bravo león!, ¡eres único!, ¡piensas en todo! —gritaban los animales, mientras el león, con falsa modestia, se daba a querer. Aquéllos arremetían: —“¡León, amigo, el pueblo está contigo!”.

Tal como se había proyectado, los concursos dieron inicio en medio de la algarabía popular: el anciano revisaba cientos de ejemplares y apuntaba todas sus características, tanto fisiológicas como anatómicas y reproductivas, así como cantidad y aspectos zootécnicos de sus hijos; medía ubres y testículos, tomaba muestras de semen de los mejores ejemplares, las diluía, y, poco a poco, llenaba con pajillas de inseminación cientos de recipientes. Incluso, ofertando tratamientos hormonales de regularización, aplicaba fármacos para superovular a las hembras de mejor calidad que querían ser madres solteras, a las

que inseminaba artificialmente y les prometía, además, coleccionar los embriones y mantenerlos en refrigeración hasta que un momento de sus actividades profesionales les permitiera mantener la gestación; de este modo, también llenaba recipientes de cientos de embriones de alto valor zootécnico de casi todas las especies. Los chimpancés, asesorados y supervisados por una colonia de castores extranjeros, trabajaban a marchas forzadas para terminar la morada del anciano, que por cierto, contaba con cientos de alojamientos.

Entre tanto, el león y su gabinete no terminaban la fiesta: salían de un concurso de belleza a otro calificando y haciendo preguntas de cultura general a las concursantes, que casi siempre respondían: “Es una experiencia muy padre poder estar aquí; mis aficiones son el ejercicio, el baile y la actuación, y quiero ser embajadora de mi región para poner su nombre muy en alto...”.

En sus pocos momentos libres, el anciano experimentaba con algunos de los embriones obtenidos, añadiendo o quitando partes específicas de los *loci* cromosomales, buscando obtener individuos superados a base de ingeniería genética. Igualmente, extraía el núcleo de algunas células y lo implantaba en óvulos previamente enucleados para estimular su desarrollo embrionario.

En pocos días, un imponente edificio de madera se veía en el puerto: la casa del anciano estaba por ser terminada y dentro de ella, miles de contenedores con refrigerante debidamente clasificados y ordenados por especie.

Por fin tuvo lugar el último concurso de belleza y, mientras el coro de pájaros y monos aulladores deleitaba al público reunido, el anciano, emocionado, le proponía al león ofrecer un viaje todo pagado por el Caribe a las ganadoras de todos los concursos, al

cual, evidentemente, podría estar invitado el león y los otros tres miembros de su gabinete, como únicos acompañantes de las hembras... Nuevamente el león, el gorila, el rinoceronte y el hipopótamo se miraban mutua y alegremente en actitud de complicidad, — ¡Padrísimo!, sentenció el gorila, que ya se sentía *snob* intelectual debido al efecto del jugo de fruta fermentada que había bebido por varios días, al tiempo que el león accedía con evidente lujuria — ¡Sssáale!, ¡Ya’stuvo viejito! ¡haz lo que se te dé la gana, me cais rebién...!

De esta forma, al final del último evento, todas las ganadoras, una hembra de cada especie, entraban a la formidable casa del anciano, y lo mismo hacía el gabinete del león, cantando y dando traspies, mientras el resto de los machos permanecía dormido a consecuencia de los fermentos frutales ingeridos.

Al día siguiente, el león despertaba en medio de gritos de alarma y asombro del resto de los animales. Una densa lluvia inundaba casi todo el territorio y

algo lastimaba la entepierna del león: algo le había producido dolor en los genitales; el resto de su comitiva también estaba adolorido.

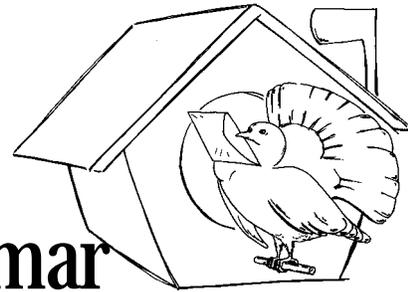
—Creo que el anciano nos puso un aparatito que se llamaba... algo así como «electroyaculador»; me di cuenta, pero estaba muy cansado y me volví a quedar dormido. Indicó el gorila, que caminaba como charro.

—¡El anciano! —clamó el león—, ¿dónde se encuentra?, rugió, pero al buscar la casa del anciano, ésta flotaba alejándose de la costa.

—¿Ya vio jefecito?, la punta de la casa del viejo tiene un escrito muy chistoso: “*Noah’s Arc, Inc., Suplements and genetical resources to a great farm production*” —indicó el gorila.

El león sudó frío mirando a los enojados súbditos que poco a poco lo cercaban: el diluvio universal comenzaba y Noé partía en su mitad de arca, sin problemas de sobrepoblación o de violencia varonil...





El Palomar

Dra. Laura Elena Hernández Diosdado
Directora de la revista
IMAGEN Veterinaria
P r e s e n t e

Por este conducto, y con gran satisfacción, deseo comunicar a sus lectores la exitosa participación de la División SUA-ED en el XI Festival de Cine y Video Científico, celebrado en Aguascalientes, Ags. del 3 al 8 de septiembre del año en curso, donde recibió una mención honorífica por el video: *Instalaciones en la Explotación Intensiva de Ganado Bovino Lechero, 1.ª Parte: Zonas de Alojamiento y de Almacenes para Alimento*, realizado por Zavala RJ, Ramos VA, Pérez GN, Gasque GR, Blanco CM, Posadas ME, Ruiz CJ, Stack J, Bermúdez A, Salazar BJ, Bernardez MG, Zamorano RU, Ochoa PM, Ríos RC, Alpizar MR. Este video forma parte del programa de producción de materiales didácticos de apoyo a la enseñanza-aprendizaje de esta división.

Atentamente,

MVZ MC Eduardo Posadas Manzano
Jefe de la División Sistema Universidad Abierta
y Educación a Distancia/FMVZ

A todos nuestros lectores:

Recibimos, de manera verbal, comentarios acerca del contenido de algunos de los artículos del número anterior de nuestra revista. Me permito reiterarles la invitación para utilizar este espacio para hacernos llegar sus comentarios por escrito, pues sólo así podremos compartirlos con los autores y nuestros lectores.

Agradezco su apoyo para el enriquecimiento del contenido de esta publicación.

Atentamente,

Laura Elena Hernández Diosdado
Directora técnica y editora.

El palomar es un espacio para fomentar la comunicación entre médicos veterinarios-zootecnistas, profesionistas afines y público en general; así como para publicar dudas, comentarios o sugerencias acerca del contenido de esta revista, o cualquier otro asunto de interés general.

Dirígete a:

IMAGEN VETERINARIA

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Universidad Nacional Autónoma de México.

Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria.

C.P. 04510, Coyoacán, México, D.F.

Teléfonos: 5622-5909, 5622-5949.

Fax: 5616-6536.

Correos electrónicos:

pega@servidor.unam.mx

hdiosdadol@cuahtli.veterin.unam.mx

Despistes y Franquezas

En el número anterior de *Imagen Veterinaria* tuvimos algunas omisiones: Las fotografías del Dr. Francisco Trigo y del Dr. Armando Mateos fueron tomadas por Jaime Eugenio Córdova.

La información de la sección "Actualidades Agropecuarias" fue proporcionada por Ma. Isabel Oropeza.

En el artículo "Fiebre aftosa en fauna silvestre" la autora principal es Itzel Yáñez M.

En la página 5, donde dice: "...al inicio del año 2000...", debe decir: "...al inicio del año 2001...".

En la página 41, donde dice: "... Consejo Mexicano de Porcicultores...", debe decir: " Consejo Mexicano de Porcicultores...".

El mapa que aparece en la página 69, debió aparecer en la página 43.

Ustedes perdonen, corregimos en diciembre los errores de julio.



Aquí encontrarás direcciones de internet relacionadas con los artículos de este número de **IMAGEN VETERINARIA**. ¡Conéct@te!

 <http://www.ri.bbsrc.ac.uk/library/research/press1.html>

Sitio del Roslin Institute, centro de investigación de Edimburgo donde se ha desarrollado la clonación de una oveja a partir de una célula de animal adulto. Desde esta página se tiene acceso a cuatro artículos relacionados con la investigación llevada a cabo por científicos escoceses en la clonación de mamíferos, y a diferentes trabajos previos a la clonación de la oveja.

También permite acceder a enlaces externos, como las revistas *New Scientist* y *Nature*, así como al PDIC (Pig Disease Information Centre).

 <http://www.newscientist.com/clone>

Dirección electrónica de la revista científica *New Scientist*, que contiene un reportaje especial sobre la clonación, además de noticias, opiniones y un foro de debate sobre bioética, en el que participan investigadores de todo el mundo.

 yahoo.com/News_and_Med...ammal_cloned/Latest_News_Stories/

Desde aquí se puede acceder a diferentes artículos periodísticos aparecidos en la prensa (*Washington Post*, *Chicago Tribune*, *Boston Globe*, etcétera.), así como a las notas de agencias como AP, Reuters y UPI.

 <http://www.med.upenn.edu/bioethics>.

Página del *Center for bioethics* de la Universidad de Pensilvania, organización líder en el estudio de la ética de la clonación y otros aspectos relacionados; tiene una sección especial de la oveja clonada.

 <http://www.nature.com>.

La dirección electrónica de la revista *Nature*, que ha publicado el trabajo científico sobre la clonación de Dolly. También facilita la dirección del investigador principal, el doctor Ian Wilmut, para comunicarse directamente con él.

La dirección del artículo es:

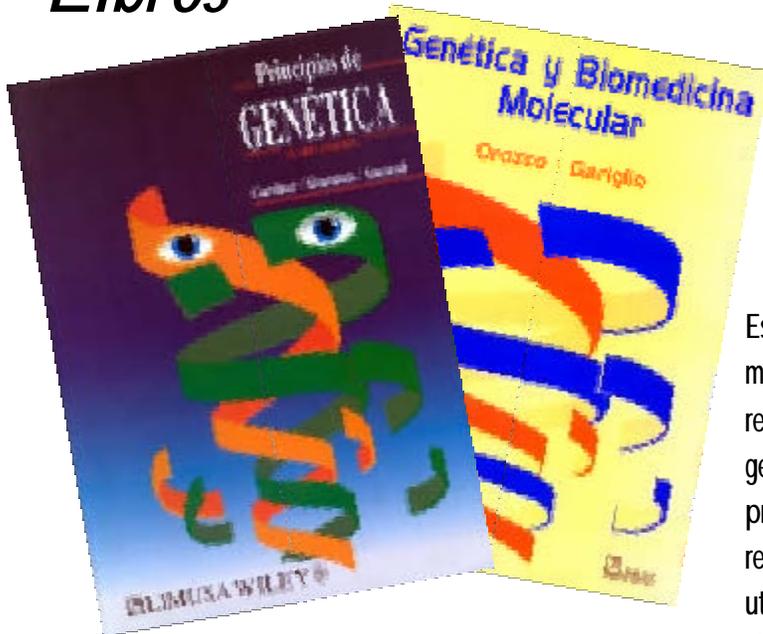
<http://www.nature.com/Nature2/serve?SID=9106071&CAT=NatGen&PGOsheep/sheep4.html>.

 <http://biocrs.biomed.brown.edu/Books/Chapters/Ch%208/DH-Paper.html>

En esta página encontrarás el artículo original (de solamente una cuartilla), publicado el 2 de abril de 1953, por el que saltaron a la fama los científicos Watson y Crick al revolucionar el conocimiento de la genética, el nombre del artículo es «*A structure for deoxyribose nucleio*».



Libros



Principios de Genética de Eldon J. Gardner

En este libro se analizan los diferentes campos de aplicación de la genética, como la humana, la vegetal y la animal; además se exploran temas afines que complementan la información.

CONTENIDO:

Genética mendeliana. El material genético. Mecánica celular: determinación del sexo y diferenciación. Ligamiento, entrecruzamiento y mapeo cromosómico. Estructura genética fina. Regulaciones genéticas y patrones de desarrollo. Mutagénesis. Estructura y modificación de los cromosomas. Variaciones en el número cromosómico. Herencia extracromosómica. Herencia poligenética o multigenética. Genética de poblaciones. Sistemas de cruzamiento. Genética del comportamiento. Principios genéticos aplicados al hombre. Glosario. Respuestas y problemas.

Rústica, 19 x 24 cm. 716 pp.

ISBN 968-18-0011-7

Editorial Limusa.

Genética y biomedicina molecular de Orozco y cols.

Este libro reúne la participación de expertos en Genética molecular, Bioquímica, Biología celular, Inmunología y la de reconocidos investigadores científicos en el área del cáncer, genética humana y enfermedades infecciosas. Los autores presentan los fundamentos moleculares y bioquímicos de la regulación y expresión de genes y proteínas, la moderna utilización de animales transgénicos para la investigación científica, y los últimos conocimientos sobre importantes enfermedades, como SIDA, cáncer, padecimientos hereditarios, amibiasis, tricomoniasis y malaria, entre otras.

CONTENIDO:

Prólogo. Bioquímica de los ácidos nucleicos. Fundamentos básicos de genética molecular. Expresión y regulación génica. Sistemas de expresión procarionticos. Sistemas de expresión eucarionticos. Organización estructural y funcional del DNA en el núcleo. Animales transgénicos. La terapia génica del cáncer. Inmunología. La virología en la biomedicina. La biología molecular del virus de la inmunodeficiencia humana. Bases moleculares del cáncer. Enfermedades hereditarias. Identificación de individuos mediante el análisis del DNA. Los genes de las enfermedades mentales. Canales iónicos y enfermedad: bases moleculares. Mecanismos moleculares de acción de las hormonas esteroides en mamíferos. Biología molecular de *Entamoeba histolytica*. Biología molecular de la trichomoniasis. Biología molecular de *Plasmodium*. Vacunas.

Rústica, 21 x 27.5 cm. 348 pp.

ISBN 968-18-5747-X

Editorial Limusa.

Acontecimientos próximos

División de Educación Continua

Taller básico de quesería.
Inscripción 15 días antes de la fecha en que se desea iniciar el taller.



Curso internacional de reproducción porcina.
28 de febrero y 1° de marzo de 2002.
Sede: Auditorio Pablo Zierold Reyes ubicado en el Edificio de Posgrado de la FMVZ de la UNAM.
Recepción de trabajos: antes del 7 de noviembre de 2001

Diplomado a distancia en medicina, cirugía y zootecnia de perros y gatos, (6ª Generación).
Inicio 1° de marzo de 2002.



Jornadas médico avícolas. 20 al 22 de febrero de 2002.
Sede: Auditorio Pablo Zierold Reyes ubicado en el Edificio de Posgrado de la FMVZ de la UNAM.
Fecha límite de recepción de trabajos: 28 de septiembre de 2001.

*Inscripciones e informes:
División de Educación Continua
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM
Ciudad Universitaria, D.F. C.P. 04510
Tel. 56-22-58-52 y 53, Fax y Tel. 56-22-58-51
E-mail: decvet@cuauhtli.veterin.unam.mx
<http://www.veterin.unam.mx/fmvzunam.htm>

Producción Animal

Taller básico de productos lácteos
Fechas: durante todo el 2001 en días hábiles (es requisito solicitar inscripción 15 días antes de la fecha en que se desea participar).
Objetivo: conocer la manera en que se elaboran diversos productos lácteos.
Duración: 30 horas.
Horario: 7 a 13 horas (lunes a viernes).
Sede: CEIEPBC "Rancho Cuatro Milpas" (domicilio conocido en Tepozotlán, Estado de México).
Invitan: FMVZ-División de Educación Continua-CEIEPBC "Rancho Cuatro Milpas".
Mayores informes e inscripciones: Edificio de Posgrado, primer piso. Teléfonos: 56 22 58 52 y 53.



Curso teórico-práctico productos procesados del cerdo pelón mexicano
Fecha: primer lunes, martes y miércoles de cada mes.
Objetivo: dar a conocer las prácticas y principios teóricos elementales para la elaboración de embutidos.
Dirigido a profesionales y estudiantes.
Duración: 20 horas.
Sede: CEIPSA, kilómetro 28 carretera federal a Cuernavaca, Topilejo, México, D.F.
Cupo limitado.
Invitan: FMVZ-División de Educación Continua- Centro de Enseñanza, Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal.
Mayores informes e inscripciones: Edificio de posgrado, primer piso. Teléfonos: 56 22 58 52 y 53, y CEIPSA (Topilejo). Teléfonos: 58 48 05 15 y 58 48 08 10.



2° Congreso internacional virtual agropecuario a celebrarse del 1 al 5 de abril del 2002
Recepción de trabajos hasta el 31 de diciembre del 2001 a los correos electrónicos:
civa@correo.unam.mx
cbta@congresocbta.unam.mx
Temas:
Medicina veterinaria
Producción animal
Producción agrícola
Medio ambiente
Desarrollo rural
Se enviará constancia con valor curricular a los trabajos seleccionados para su publicación en la página web del congreso en la fecha del 1 al 5 de abril del 2002.
Requisitos de los trabajos en:
<http://www.congresocbta.unam.mx>

Lineamientos de IMAGEN Veterinaria

IMAGEN Veterinaria es una revista de difusión; es decir, su objetivo es transmitir la experiencia de una investigación, una imagen de la realidad en la práctica y el modo de pensar acerca de la ciencia, teniendo siempre en cuenta que los receptores de la información contenida no son necesariamente conocedores del tema.

Se dará preferencia a los escritos inéditos. Cuando no sea el caso, el autor debe anexar a la carta de envío de su artículo: a) una nota al pie de la página inicial del artículo en donde informe que ya ha sido publicado parcial o totalmente, y la referencia de la fuente primaria ("Este artículo está basado en un primer estudio reportado en: —título de la revista y referencia completa—"); b) una copia de la versión primaria, y c) una carta de aprobación por parte del editor de la fuente primaria. El artículo secundario estará destinado a un grupo diferente de lectores; incluso, una versión abreviada y sin especificaciones, como material, métodos y resultados, es suficiente. Los trabajos cuyos resúmenes hayan sido publicados en las memorias de congresos nacionales o internacionales, simposios, talleres o mesas redondas, también pueden ser publicados, pero el autor debe informar tanto al editor de las memorias como a IMAGEN Veterinaria.

Todos los trabajos enviados deben estar acompañados de una carta de envío que especifique el material anexado —número de fotos, cuadros, etcétera. Se revisará por los miembros del comité editorial, especialistas en el área, quienes evaluarán la información contenida en escrito y determinarán si es veraz, novedosa, comprensible y práctica. El comité editorial se reserva el derecho para la selección y la publicación de los artículos.

Requisitos para la presentación de escritos.

Se entregarán dos originales impresos y una copia del archivo en disquete de 3.5 pulgadas, alta densidad, capturado en el programa Microsoft Word versión 6.0 para Windows o superior. El archivo se debe nombrar claramente y se debe etiquetar el disquete con el formato y el nombre del archivo.

La impresión del artículo deberá apegarse a lo siguiente:

- Letra tipo Times New Roman de 12 puntos.
- Originales impresos por una sola cara, en papel blanco, tamaño carta.
- La extensión mínima del artículo debe ser de cuatro cuartillas y la máxima de 20 cuartillas —una cuartilla equivale a 28 líneas a doble espacio, de 60 a 70 golpes por línea.
- Todas las páginas deben estar numeradas en el extremo inferior derecho. En el extremo superior derecho debe aparecer el título del artículo.
- Se respetarán los siguientes márgenes: superior e inferior 3 cm; izquierdo y derecho 4 cm.
- El título del artículo debe ser conciso e informativo.
- Se anotarán los nombres completos, título profesional y grado de los autores (si son más de seis, solamente mencionar los seis primeros y posteriormente agregar cols.); nombre de la institución de procedencia y departamento al que pertenecen. Se anexarán la dirección postal o institucional, el número telefónico y de fax, y el correo electrónico del autor encargado de la correspondencia con la revista. Se debe anexar, asimismo, una carta firmada por todos los coautores donde declaren que están de acuerdo en aparecer como tales en el escrito.
- Cada cuadro se debe presentar en una hoja separada, a doble espacio. El número del cuadro y su título deben estar en la parte superior de éste. Se debe explicar al pie del cuadro las abreviaturas utilizadas, marcándolas con símbolos (*, II, **, ...). Si utiliza un cuadro de otra fuente ya publicada, se debe citar.
- Las gráficas y los dibujos deben enviarse en impresión original, en hojas separadas, con número y título en el extremo inferior (a doble espacio); asimismo, deben incluirse en el disquete enviado, las figuras y gráficas que deben elaborarse en los

programas Excel 97, Power point 97, Corel Draw 7.0, y no deben ser trasladadas a Word.

- Las fotografías deben ser, de preferencia, diapositivas, si no es posible, se deben entregar impresiones en papel brillante, con buena calidad de imagen y bien contrastadas. El tamaño mínimo de la impresión es de 127 por 173 mm. Se debe señalar al reverso de éstas su orientación superior, título y número, e indicar el nombre del primer autor y título del artículo (con lápiz grueso para no dañar el papel). Además de entregar copias de sus originales.
- Se deben incluir los permisos necesarios para reproducir material publicado previamente o para usar ilustraciones en las que se pueda identificar a una persona.
- Se aceptan colaboraciones de pasantes de Medicina Veterinaria y Zootecnia o carreras afines, anexando una carta de recomendación del mentor (profesional, académico, investigador) que avale su trabajo.
- En la redacción, se respetarán las normas internacionales que se refieren a las abreviaturas estándares.
- Los agradecimientos podrán incluirse como nota al pie de la primera página (página del título), o al final del texto.
- Literatura recomendada.

En el texto no se incluirán referencias bibliográficas. Al final del artículo se listará la literatura recomendada, citándose con base en los "Requisitos uniformes para preparar manuscritos enviados a revistas biomédicas" del Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas (JAMA 1993; 269:2282-2286).

Los ejemplos siguientes se basan en la forma usada por la National Library of Medicine (NLM) de los Estados Unidos, en el Index Medicus. Se deben escribir en abreviatura los títulos de las revistas según el estilo empleado en este Index, para esto se puede consultar la List of Journals Indexed, que aparece anualmente como publicación específica, y en el número correspondiente al mes de enero de Index Medicus. El listado también se puede obtener a través de internet: <http://www.nlm.nih.gov>.

Las alusiones a trabajos admitidos para su publicación pero aún no publicados deben aparecer como "en prensa" o "de próxima aparición"; los autores deben obtener permiso escrito para citar estos trabajos, así como tener constancia de que están admitidos para su publicación. La información sobre trabajos presentados pero que no han sido aceptados debe aparecer en el texto como "observaciones no publicadas", y con consentimiento escrito por parte de los responsables de la fuente de información.

El estilo de los "Requisitos de Uniformidad" (estilo Vancouver) se basa en su mayor parte en un estilo estándar ANSI adaptado por la NLM para sus bases de datos. En los puntos donde el estilo Vancouver difiere del estilo utilizado por la NLM, se ha hecho referencia a ello, explicando en qué consiste la diferencia.

Artículos de Revistas

(1) Artículo estándar

Incluir los seis primeros autores y a continuación escribir et al. (Nota: la NLM incluye un máximo de 25 autores; si hay más de 25 la NLM anota los 24 primeros, luego el último y, finalmente, *et al.*).

Vega KJ, Pina I, Krevsky B. Heart Transplantation is associated with an increased risk for pancreatobiliary disease. *Ann Intern Med* 1996 Jun 1;124(11):980-3.

Como opción, si una revista utiliza paginación correlativa a lo largo del volumen (como suelen hacer la mayoría de las revistas médicas), el mes y el número del ejemplar pueden omitirse. (Nota: para ser coherentes, esta opción se utiliza a lo largo de los ejemplos en los "Requisitos de Uniformidad". La NLM no lo hace).

Vega KJ, Pina I, Krevsky B. Heart Transplantation is associated with an increased risk for pancreatobiliary disease. *Ann Intern Med* 1996;124:980-3.

Más de seis autores:

Parkin DM, Clayton D, Black RJ, Masuyer E, Friedl HP, Ivanov E, et al. Childhood leukaemia in Europe after Chernobyl: 5 year follow-up. *Br J Cancer* 1996;73:1006-12.

(2) Autor corporativo

The Cardiac Society of Australia and New Zealand. Clinical exercise stress testing. Safety and performance guidelines. *Med J Aust* 1996;116:41-2.

(3) No se indica el nombre del autor

Cancer in South Africa [editorial]. *S Afr Med J* 1994;84:15.

(4) Artículo en otro idioma distinto del inglés

(Nota: la NLM traduce el título al inglés, lo mete entre corchetes y añade una indicación del idioma original en abreviatura).

Ryder TE, Haukeland EA, Solhaug JH. Bilateral infrapatellar seneruptur hos tidligere frisk kvinne. *Tidsskr Nor Lægeforen* 1996;116:41-2.

(5) Suplemento de un volumen

Shen HM, Zhang QF. Risk assesment of nickel carcinogenicity and occupational lung cancer. *Environ Health Perspect* 1994;102 Supl 1:275-82.

(6) Suplemento de un número

Payne DK, Sullivan MD, Massie MJ. Women's psychological reactions to breast cancer. *Semin Oncol* 1996;23(1 Supl 2):89-97.

(7) Parte de un volumen

Ozben T, Nacitarhan S, Tuncer N. Plasma and urine sialic acid in non-insulin dependent diabetes mellitus. *Ann Clin Biochem* 1995;32(Pt 3):303-6.

(8) Parte de un número

Poole GH, Mills SM. One hundred consecutive cases of flap lacerations of the leg in aging patients. *N Z Med J* 1994;107(986 Pt 1):377-8.

(9) Número sin volumen

Turan I, Wredmark T, Fellander-Tsai L. Arthroscopic ankle arthrodesis in reumatoid arthritis. *Clin Orthop* 1995;(320):110-4.

(10) Sin número ni volumen

Browell DA, Lennard TW. Immunologic status of the cancer patient and the effects of blood transfusion on antitumor responses. *Curr Opin Gen Surg* 1993:325-33.

(11) Paginación en números romanos

Fisher GA, Sikic BI. Drug resistance in clinical oncology and hematology. Introduction. *Hematol Oncol Clin North Am* 1995 Abr;9(2):XI-XII.

(12) Indicación del tipo de artículo según corresponda

Enzensberger W, Fischer PA. Metronome in Parkinson's disease [carta]. *Lancet* 1996;347:1337.

Clement J, De Bock R. Hematological complications of antavirus nephropathy (HVN) [resumen]. *Kidney Int* 1992;42:1285.

(13) Artículo que contiene una retractación

Garey CE, Schwarzman AL, Rise ML, Seyfried TN. Ceruloplasmin gene defect associated with epilepsy in the mice. [retractación de Garey CE, Schwarzman AL, Rise ML, Seyfried TN. En: *Nat Genet* 1994;6:426-31]. *Nat Genet* 1995;11:104.

(14) Artículo retirado por retractación

Liou GI, Wang M, Matragoon S. Precocius IRBP gene expression during mouse development [retractado en *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1994;35:3127]. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1994;35:1083-8.

(15) Artículo sobre el que se ha publicado una fe de erratas

Hamlin JA, Kahn AM. Herniography in sinitomatic patients following inguinal hernia repair [fe de erratas en *West J Med* 1995;162:278]. *West J Med* 1995;162:28-31.

Libros y otras monografías

(Nota: el estilo Vancouver anterior añadía, de manera errónea, una coma en lugar de un punto y coma entre el editor y la fecha).

(16) Individuos como autores

Ringsven MK, Bond D. Gerontology and leadership skills for nurses. 20 ed. Albany (NY): Delmar Publishers;1996.

(17) Editor(es), compilador(es) como autores

Norman IJ, Redfern SJ, editores. Mental health care for elderly people. Nueva York: Churchill Livingstone; 1996.

(18) Organización como autor y editor

Institute of Medicine (US). Looking at the future of the Medicaid programme. Washington (DC): The Institute; 1992.

(19) Capítulo de libro

(Nota: el anterior estilo Vancouver tenía un punto y coma en lugar de una "p" para la paginación).

Phillips SJ, Whisnant JP. Hypertensión and stroke. In: Laragh JH, Brenner BM, editores. Hypertensión: pathophysiology, diagnosis and management. 20 ed. Nueva York: Raven Press;1995. p. 465-78.

(20) Actas de conferencias

Kimura J, Shibasaki H, editores. Recent advances in clinical neurophysiology. Proceedings of the 10th International Congress of EMG and Clinical Neurophysiology; 1995 Oct 15-19; Kyoto, Japón. Amsterdam: Elsevier; 1996.

(21) Ponencia presentada a una conferencia

Bengtsson S, Solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security in medical informatics. En: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Rienhoff O, editores. MEDINFO 92. Proceedings of the 7th World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Ginebra, Suiza. Amsterdam: North-Holland; 1992. p. 1561-5.

(22) Informe científico o técnico

Publicado por la agencia patrocinadora:

Smith P, Golladay K. Payment for durable medical equipment billed during skilled nursing facility stays. Fynal report. Dallas (TX): Dept. of Health and Human Services (US), Office of Evaluation and Inspections; 1994 Oct. Report No.: HHSIGOE169200860.

Publicado por la agencia responsable de su desarrollo:

Field MJ, Tranquada RE, Feasley JC, editores. Health Services Research: work force and educational issues. Washington: National Academy Press; 1995. Contrato N1.: AHCP282942008. Patrocinado por la Agency for Health Care Policy and Research.

(23) Tesis doctoral (o similar)

Kaplan SJ. Post-hospital home health-care: the elderly's acces and utilization [tesis doctoral]. San Luis (MO): Washington Univ.; 1995.

(24) Patente

Larsen CE, Trip R, Johnson CR, inventores; Novoste Corporation, assignee. Methods for procedures related to the electrophysiology of the heart. US patente 5,529,067. 1995 Jun 25.

Otros trabajos publicados

(25) Artículo de periódico

Lee G. Hospitalitations tied to ozone pollution: study estimates 50.000 admissions annually. *The Washington Post* 1996 Jun 21; Sec. A:3 (col. 5).

(26) Material audiovisual

VIH +/-SIDA: the facts and the future [videocassette]. San Luis (MO): Mosby-Anuario; 1995.

(27) Documentos legales

Ley aprobada:

Preventive Healths Amendments of 1993 Pub. L. No.103-183, 107 Stat 2226 (Dec. 14, 1993).

Proyecto de ley:

Medical Records Confidentiality Act of 1995, S. 1360, 104th Cong.,

1st Sess. (1995).

Código de Regulaciones Federales:

Informed Consent, 42 C.F.R. Sect. 441257 (1995).

Comparecencia:

Increased Drug Abuse: the impact of the Nation's Emergency Rooms: Hearings before the

Subcomm. on Human Resources and Intergovernmental Relations of the House Comm. on

Government Operations, 103rd Cong., 1st Sess. (May 26, 1993).

(28) Mapa

North Carolina. Tuberculosis rates per 100,000 population, 1990 [mapa demográfico]. Raleigh: North Carolina Dept. of Environment, Health and Natural Resources Div. of Epidemiology; 1991.

(29) Libro de la Biblia

La Sagrada Biblia. Versión del Rey Jaime. Grand Rapids (MI): Zondervan Publishing House; 1995. Ruth 3:1-18.

(30) Diccionarios y obras de consulta similares

Stedman's medical dictionary. 26th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1995. Apraxia; p. 119-20.

(31) Obras clásicas

The Winter's Tale: act 5, scene 1, lines 13-16. The complete Works of William Shakespeare. Londres: Rex; 1973.

Material no publicado

(32) En prensa

(Nota: la NLM prefiere poner "de próxima aparición" puesto que no todos los informes serán impresos). Leshner AI. Molecular mechanisms of cocaine addiction. N Engl J Med. En prensa 1997.

Material Informático

(33) Artículo de revista en formato electrónico

Morse SS. Factors in the emergence of infectious diseases. Emerg Infect Dis [serial online] 1995 Jan-Mar [citado 5 Jun 1996];1(1):[24 pantallas]. Disponible en: URL: <http://www.cdc.gov/ncidod/EID/eid.htm>.

(34) Monografía en formato electrónico

CDI, clinical dermatology illustrated [monografía en CD-ROM]. Reeves JRT, Maibach H. CMEA Multimedia Group, producers. 2nd ed. Versión 2.0. San Diego: CMEA; 1995.

(35) Archivos de ordenador

Hemodynamics III: the ups and downs of hemodynamics [programa de ordenador]. Versión 2.2. Orlando (FL): Computerized Educational Systems; 1993.

Para cualquier duda acerca de cómo citar otro tipo de publicaciones, favor de comunicarse al departamento de redacción de IMAGEN Veterinaria.

El contenido de los artículos es responsabilidad del autor.

IMAGEN Veterinaria se reserva el derecho de selección de artículos para su publicación.

Una vez que el artículo haya sido aceptado, Imagen Veterinaria solicitará un resumen curricular (con una extensión máxima de media cuartilla) del autor principal,

Favor de enviar su correspondencia a:

IMAGEN Veterinaria

Secretaría de Comunicación

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia/ UNAM

Av. Universidad 3000, Ciudad Universitaria

C.P. 04510, Coyoacán, México, D.F.

Tel: 5622- 5909 y 49 Fax: 5616-65 36



Cupón de suscripción

Nombre: _____ Compañía: _____

Dirección: _____

_____ Ciudad: _____

Estado: _____ CP: _____ Teléfono: _____

Costo por año: \$ 100.00

Forma de pago: Giro postal Depósito bancario Pago directo (caja de la FMVZ)

Cuenta 423427-3,
Banca Serfin, sucursal 115

Por favor, envíe este cupón a la Revista Imagen Veterinaria, Secretaría de Comunicación, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. Av. Universidad 3000, Coyoacán, 04510 México, D.F., o por fax al (55) 5616-6536. Si desea factura, favor de adjuntar una copia del RFC del interesado.

La Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM
a través de su División de Educación Continua,
conjuntamente con el Departamento de Medicina, Cirugía
y Zootecnia de Pequeñas Especies

lo invitan a cursar el

DIPLOMADO A DISTANCIA EN MEDICINA, CIRUGÍA Y ZOOTECNIA EN PERROS Y GATOS

(6^ª generación)

Fecha de inicio: 1^º de marzo del 2002

Duración: 11 meses

Dirigido a: médicos veterinarios egresados de cualquier Universidad o escuela de nivel superior, que se encuentren ejerciendo y que tengan interés en actualizar y profundizar sus conocimientos en medicina, cirugía y zootecnia de perros y gatos.

Material escrito: Los autores de los libros han aceptado asesorar a los alumnos para que les puedan consultar sus dudas a través de los medios que cada uno propone en páginas al final de sus capítulos y que puede ser por: fax, teléfono o correo electrónico.

El diplomado consta de 11 libros escritos por especialistas, para el estudio de cada uno de los módulos en que ha sido dividido este diplomado.

Los temas se describen de manera ordenada, con textos claramente redactados y con apoyo de gráficas, dibujos y fotografías para ilustrar y mejorar su comprensión.

En cada capítulo se incluye el objetivo que se persigue, una introducción, el desarrollo del tema, diagnóstico y tratamientos; así como la foto y datos de los autores, y la bibliografía recomendada para profundizar en el área.

Materiales audiovisuales: Cada uno de los módulos se apoya en un video donde se presenta a sus autores y ahí se ilustran procedimientos diagnósticos y técnicas médico-quirúrgicas, para mejorar la comprensión de los textos.



TEMAS Y MÓDULOS

- I. Examen clínico: métodos y técnicas de diagnóstico
- II. Enfermedades infecciosas
- III. Principios básicos de cirugía
- IV. Dermatología
- V. Oftalmología y neurología
- VI. Genitourinario y cirugía urogenital
- VII. Gastroenterología y cirugía gastroentérica
- VIII. Cardiología y neumología
- IX. Ortopedia y traumatología
- X. Zootecnia
- XI. Administración y código de ética

Envío de documentos, informes e inscripciones:



2o. Piso, Edif. Posgrado-FMVZ-UNAM

Circuito Exterior, Cd. Universitaria

C.P. 04510, Coyoacán México, D.F.

Tels. (55) 5622 5852 y 53, Fax (55) 5622 5851

Correo electrónico: decvet@cuauhtli.veterin.unam.mx

[Http://www.veterin.unam.mx/fmvzunam/decunam.htm](http://www.veterin.unam.mx/fmvzunam/decunam.htm)

* Tiene un valor curricular de 20 puntos, otorgados por el Consejo Nacional de Educación Veterinaria (CONEVET).



No pierda la oportunidad de actualizarse en la comodidad de su hogar o sitio de trabajo sin descuidar sus actividades profesionales

La División Sistema Universidad Abierta y Educación a Distancia te ofrece

Material didáctico para las especialidades de:



Aves

Bovinos

Porcinos



- Instalaciones en la explotación intensiva de ganado bovino lechero. 1a Parte: Zonas de alojamiento*
- 2a Parte: Zona de ordeño
- Técnica de necropsia en cerdos
- Inseminación artificial en cerdos
- Obtención y envío de muestras al laboratorio: bovinos y cerdos
- Características productivas y zootécnicas de las principales razas de bovinos en México: 1a y 2a partes

- Alimentación animal (forrajes y concentrados, manejo de pastizales)
- Administración pecuaria
- Sistema de producción animal
- Mejoramiento animal (genética, reproducción)



a la venta en la División SUA-ED

Informes: en la División Sistema Universidad Abierta y Educación a Distancia
 FMVZ, Edificio de Posgrado, primer piso, Ciudad Universitaria, D.F. 04510
 Teléfonos: 5622-5849 y 50, fax: 5622-5920
 Correo electrónico: posadas@servidor.unam.mx

* Mención honorífica en el XI Festival de Cine y Video Científico celebrado en Aguascalientes, Ags., del 3 al 8 de septiembre de 2001.