

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLIN	
Facultad de Ciencias Agropecuarias	Departamento de Producción Animal
Sección de Nutrición Animal	



REFLEXIONES EN TORNO A LA MATEMATIZACIÓN EN LAS CIENCIAS PECUARIAS. Un ejemplo: el consumo de materia seca en rumiantes

Héctor Jairo Correa Cardona
Universidad Nacional de Colombia

Departamento de Producción Animal
hjcc_unal@hotmail.com

**REFLEXIONES EN TORNO A LA MATEMATIZACIÓN
EN LAS CIENCIAS PECUARIAS. Un ejemplo:
el consumo de materia seca en rumiantes¹.**

Preámbulo.

Las matemáticas han sido un problema para la Universidad debido a la alta mortalidad académica presentada entre estudiantes pertenecientes a diversos programas curriculares, incluidos aquellos en los que ellas son la base de la formación académica, como las ingenierías. Así, Cossio y Tejada (1999) señalan que el porcentaje de estudiantes que reprobaron los primeros cursos de Matemáticas en la Universidad Nacional, Sede de Medellín osciló entre 45 y 60%. Por su parte Uribe (s. f.) señala que este porcentaje puede ascender a veces hasta el 60% de los estudiantes matriculados en cursos básicos. Esto ha suscitado diversas reacciones que han ido desde paros y movilizaciones estudiantiles hasta propuestas de eliminar los cursos que tienen que ver con ellas en algunos programas académicos por ser considerados un mal innecesario, o plantear la necesidad de impartir unas matemáticas especiales en algunos programas académicos. A esta crisis no ha escapado el programa curricular de zootecnia cuyos cursos de matemáticas se han constituido en la principal causa de mortalidad académica en sus estudiantes.

Es posible pensar que en buena medida el "fracaso" que han significado las matemáticas en la formación académica de los estudiantes de zootecnia y en general, de las Ciencias Pecuarias, reside en la falta de comprensión acerca del papel que tienen estas en la investigación y en la formación académica en esta área del conocimiento. Por ello el objetivo inicial de este documento es el plantear algunas reflexiones preliminares en torno a la matematización en las ciencias de la producción animal esperando con ello darle un significado a las matemáticas

¹ Ponencia presentada durante la conmemoración de los 40 años de la Carrera de zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín en octubre de 2002.

acorde al objeto de estudio y alcances de la investigación en ésta área del conocimiento.

Introducción.

Estanislao Zuleta (Valencia, 1997) afirmaba que uno de los mayores problemas de la educación es la ausencia de toda filosofía: "*...además del problema de enseñar resultados, sin enseñar los procesos del conocimiento, existe un problema esencial - afirmaba -: en la escuela se enseña sin filosofía y ese es el mayor desastre de la educación. Se enseña geografía sin filosofía, biología sin filosofía, historia sin filosofía, filosofía sin filosofía, etc*".

"Entiendo por filosofía - agrega Zuleta - la posibilidad de pensar las cosas, de hacer preguntas, de ver contradicciones... Es un filósofo el hombre que quiere saber; el hombre que aspira a que el saber sea la realización de su ser; el hombre que quiere saber por que hace algo, para que lo hace, para quién lo hace; ...el hombre que quiere ser consecuente con los resultados de su investigación" (Valencia, 1997).

Hay que señalar con Zuleta, que en la Universidad, y no solo en la escuela, se enseña sin filosofía. Pero, más que esto, se aprende y se estudia y, en consecuencia, se trabaja y se vive sin ella, y este es un problema mayor ya que el estudiante debe asistir a la Universidad para plantearse preguntas trascendentales y buscar su respuesta en vez de responder preguntas de carácter, la mayoría de las veces, enciclopedistas.

Pero, parece ser que la ausencia de una formación académica sin filosofía no es asunto nuevo ni propio de nuestro sistema educativo. Heimendahl (1969) se lamenta de la ausencia de la filosofía como parte de la formación del hombre contemporáneo al señalar que "*para los hombres de nuestro siglo la filosofía parece haber sido relegada a un segundo plano por el poder tan visible de las ciencias naturales*". Los problemas filosóficos en las ciencias han tenido mayor

debate en la física - sobre todo a partir de 1925 (Bochner, 1991) - que en otras áreas del conocimiento en ciencias básicas. Así, Villaveces (2000) intenta explicarse la razón por la cual los filósofos de las ciencias se interesan tan poco en la química y señala que los trabajos de filosofía de las ciencias se han consagrado principalmente a la filosofía de la física y, en menor grado, a la de la biología. Ahora, si asumimos que las ciencias pecuarias tienen un asiento fuerte en esta última, la química y la física - en ese orden de importancia por los aportes que hacen a las ciencias pecuarias -, y si reconocemos el menor desarrollo de discursos filosóficos en torno a la biología y la química, no es de extrañarnos la ausencia de debates en torno al conocimiento que se genera alrededor de las Ciencias Pecuarias en general. La situación se hace más dramática si se intenta hacer una búsqueda de documentos que le den fundamentación al proceso de matematización que se ha dado allí.

Ante la pregunta que se hace Villaveces, él plantea una respuesta no muy diferente a la de Heimendahl (1969): *la química es "una disciplina que se ha desarrollado en sus aspectos prácticos y fuertemente enraizada en el mundo contemporáneo, pero con bases teóricas endebles y con una relación problemática con el conjunto de la ciencia natural"*. El problema en las ciencias pecuarias no es diferente: el practicismo, entendido como la posibilidad de dar respuestas inmediatas a los problemas de la producción animal sin detenerse demasiado sobre la fundamentación teórica de la técnica que se aplica o de su contextualización, es el enfoque más solicitado en nuestro medio. Lo importante es dar respuesta a los productores, a la industria, a la sociedad en general, sobre las demandas que se tienen en cuanto a la obtención de bienes y servicios provenientes de la producción animal, y esta es una de las características que ha dominado la historia de las ciencias agropecuarias, en general, en nuestro país. Bejarano (1986) en sus **"Notas para una historia de las Ciencias Agropecuarias en Colombia"** afirma que la historia en esta área del conocimiento no puede ser más que la historia de sus resultados y, por supuesto, de sus prácticas. Y agrega: *"En el caso de las ciencias naturales, ..., a la asimilación de*

conceptos y métodos se sobrepusieron necesidades más pragmáticas, de modo que antes que la ciencia misma lo que se asimiló fueron sus prácticas, y ello como resultado de la carencia no sólo de una cultura científica y de la precariedad de recursos materiales que permitieran desarrollar cabalmente el método experimental, sino de urgencias sociales y económicas que conducían al predominio de las aplicaciones sobre el espíritu científico. Las ciencias agropecuarias, por supuesto, no son una excepción... "

La generación de conocimientos, sin embargo, avanza de manera avasalladora. Nunca antes como en el último siglo, se acumuló tal cantidad de conocimientos ni se dedicó tanto dinero a la investigación y al desarrollo de técnicas. No sin razón se dice que cerca del 80% de todo el saber científico que ha acumulado la humanidad se ha recopilado durante este último siglo (Clavijo, 2001). No obstante esto, las reflexiones en torno a la generación de tales conocimientos, - por lo menos en el caso de producción animal - son comparativamente menores: parece ser que no hay tiempo para ello. Los ritmos que caracterizan a la generación del conocimiento y a la filosofía son diferentes: "...*Medito sobre mis acciones y mis pensamientos del día* - dice Nietzsche (1982) -. *Rumiando tales recuerdos, me interrogo, con paciencia propia de una vaca...*".

Recientemente, el Consejo Nacional de Inteligencia de los Estados Unidos (National Intelligence Council, 2000), publicó un documento que se supone sentará las bases para planear las consideraciones tácticas de corto plazo y las perspectivas estratégicas de largo alcance en cuanto a la política americana en diversos aspectos: Tendencias Globales al 2015. Una de las líneas conductoras del documento fue el de la ciencia y la tecnología y, al respecto, se concluye que serán la tecnología informática, la biotecnología y otras tecnologías las que tendrán mayor peso en el futuro próximo: "*Hace quince años* - se señala -, *pocos predijeron el profundo impacto que ha generado la revolución de la tecnología informática. Previendo lo que sucederá en los siguientes tres lustros, el mundo tendrá muchos más saltos cuánticos en el terreno de la tecnología informática y en*

otras áreas de la ciencia y la tecnología. La continua difusión de la tecnología informática y las nuevas aplicaciones de la biotecnología estarán en la cresta de la ola. Este será el ladrillo más grande del edificio del comercio internacional y el área que más fuerza dará a los actores no gubernamentales. La mayoría de los expertos están de acuerdo en que la tecnología informática representa la más grande transformación desde el comienzo de la revolución industrial a mitades del siglo XVIII".

A esta tendencia no han escapado las ciencias de la producción animal en las que la informática ha abierto un horizonte bastante amplio (Jones, 1992) y, en la misma medida, la tendencia hacia el futuro próximo es la del desarrollo de programas de simulación cada vez más potentes en áreas tales como la nutrición, la alimentación y el mejoramiento genético animal. Desde 1949, cuando fue posible el uso de computadores por parte del personal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para el registro y análisis de datos requeridos por el programa de mejoramiento genético de los hatos lecheros (Crandall, 1992), hasta la actualidad, en la que está disponible el último programa para la estimación de requerimientos nutricionales para ganado lechero publicado por el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (National Research Council, 2001), es muy marcado el avance que se ha dado en lo que tiene que ver con la aplicación de la informática en la producción animal. Sin embargo, no ha sido el caso de la racionalización en el uso de modelos matemáticos que se constituyen en la base de tales programas.

El desarrollo de ecuaciones para la estimación del consumo de materia seca (CMS) en vacas lactantes, es un ejemplo de ello. Basta comparar la simpleza de una ecuación que es comúnmente recomendada para ser utilizada a nivel de campo con la ecuación que está incluida en el programa de la séptima versión de Los requerimientos nutricionales de ganado de leche del Consejo Nacional de Investigaciones de los Estados Unidos. Mientras que la primera es una ecuación lineal que hace la estimación del CMS basada en el contenido de fibra en

detergente neutra (FDN) del alimento (CMS (% del peso vivo) = 120/% FDN) (Grant *et al*, 1997), la segunda es una ecuación exponencial empírica con un factor de ajuste para corregir el retraso en el consumo al inicio de la lactancia en función de la semana de producción (National Research Council, 2001):

$$\text{CMS} = (((\text{PV} ^ 0.75) * 0.0968) + (0.372 * \text{LCG}) - 0.293) * \text{Lag}$$
, donde PV = peso vivo; LCG = leche corregida al 4% de grasa.

El bajo consumo al comienzo de la lactancia es ajustada utilizando la variable Lag:

$$\text{Lag} = 1 - \exp(-0.192 * (\text{SEL} + 3.67))$$
, donde SEL = semana en lactancia

Esta última ecuación fue obtenida a partir de un estudio que incluyó 11755 datos individuales de vacas holstein distribuidas en cuatro estados de los Estados Unidos (Roseller *et al*, 1997). De esta información se obtuvo la correspondiente al CMS durante las primeras 16 semanas de lactancia. Las vacas se estratificaron por el mes en que se dio el pico de la lactancia, y de esta manera, se calculó el retraso en el consumo. Aunque los autores calcularon tres ecuaciones de acuerdo a si el pico de producción se alcanza dentro del primero, segundo o tercer mes de lactancia, la ecuación utilizada por el National Research Council (2001) es la correspondiente a vacas que alcanzan el máximo de producción en el tercer mes.

Los fundamentos matemáticos que subyacen tras estas ecuaciones y, en general, tras los conceptos que se han generado en las ciencias de la producción animal, no van más allá del entendimiento de las matemáticas que se emplean y que no difieren del conocimientos que se imparten en la secundaria y que se repiten y profundizan en la Universidad. ¿Qué tan adecuadas son las matemáticas que se enseñan y se utilizan en las ciencias de la producción animal?; ¿qué tan adecuados son los modelos matemáticos que se diseñan para expresar los fenómenos que son objeto de estudio de esta área del conocimiento?; y

finalmente, ¿cual es la interpretación biológica de tales modelos? Un intento por reflexionar en torno a estas tres preguntas es el motivo de este documento.

Es necesario hacer una advertencia inicial: no soy matemático de formación, de hecho, mis conocimientos en ellas son bastante elementales, suficientes para no naufragar entre los modelos matemáticos que son comúnmente utilizados en la producción animal. Soy zootecnista de profesión. Sin embargo, la inquietud que ha generado en mí el uso y abuso de las matemáticas en las ciencias de la producción animal, me han llevado a la lectura y reflexión sobre el tema. Parto de la base de que las matemáticas son más que una mera forma de ejercitar nuestra capacidad de análisis, de allí que no comparto la idea que sobre la aritmética analítica tenía un profesor de la Facultad Nacional de Minas quien señalaba que *"la aritmética analítica es una magnífica disciplina, y una buena gimnasia mental. Encontraremos problemas que a primera vista ninguna aplicación práctica tienen,"* señala a continuación, *"pero su fin es el desarrollo del análisis; el que analiza bien un problema de números, analiza luego correctamente un problema práctico..."* (Delgado, 1948).

La matematización de la naturaleza.

Una de las primeras revoluciones del conocimiento humano sobre el mundo que lo rodea se dio *"por la necesidad de intervenir, controlar y dominar el mundo y el curso de los acontecimientos..., para lograr hacer un mundo para sí, había que sacar a los dioses, con el fin de que dejaran a los seres humanos construir su propio destino. Se necesitaba predecir la ocurrencia futura de acontecimientos, las épocas de sequía, de lluvia, sin acudir a adivinos o a las artes adivinatorias, ni a rogativas - a los dioses - para que se produjera lo deseado. Esta fue la apertura que abrió los senderos hacia el pensamiento científico y tecnológico"* (Gallego - Badillo, 1996). Desde entonces, esta no ha dejado de ser la senda por la que transitan las ciencias experimentales.

Una segunda revolución en el conocimiento humano se ha situado a partir de los conceptos desarrollados por Galileo Galilei quien sostenía que la naturaleza estaba escrita en lenguaje matemático por lo que *"para leer en su gran libro era indispensable dominar las formas de codificación y de decodificación que este sistema establece"* (Gallego - Badillo, 1996). Es también Galilei quien funda las bases del método científico tal y cual hoy se conoce (Russell, 1983). *"Formula un método en el que la observación se halla mediada por la estructura mental que matematiza, a partir de la cual se han de formular las hipótesis necesarias que luego habrán de ser demostradas en experimentos métricos rigurosos, cuyos resultados se interpretarán a la luz de las proposiciones de partida"* (Gallego - Badillo, 1996).

Newton tuvo el mérito de avanzar meteóricamente en la propuesta de Galilei con su dinámica clásica: *"El éxito de la teoría de Newton radicó en que ella se constituyó en un sistema predictivo cuyos adelantos se cumplieron en su gran mayoría..."* (Gallego - Badillo, 1996). Sin embargo, como lo señala Bochner (1991), la primera confirmación directa de la Ley de Newton de la gravitación universal sólo pudo darse a mediados del siglo XX cuando se observó que los satélites artificiales se movían realmente de acuerdo con esta ley. No obstante esto, Laplace (dos siglos antes) afirmaba la factibilidad de calcular de antemano todo el porvenir del universo. Esto se denominó "Determinismo", la doctrina que afirmaba la existencia de leyes naturales fijas, que determinan unívocamente el estado futuro de un sistema a partir de su situación actual (Bochner, 1991).

Por su parte, Kant "universaliza" las matemáticas en su Crítica de la Razón Pura al opinar que sólo es ciencia aquello que sea susceptible de matematización (Bochner, 1991). En opinión de Bochner (1991), sin embargo, la obra de Kant habría tenido un mayor impacto en el desarrollo de las ciencias actuales si no hubiera limitado su apriorización a los campos tan limitados de las figuras euclídeas y de los números. Este será un asunto que se tratará más adelante.

De esta manera, en el siglo XIX, se impone el positivismo mecanicista cuyo principal objetivo consiste en alcanzar una matematización de la realidad, matematización que se distingue por el carácter certísimo de su evidencia, considerado como modelo de toda ciencia (Wust, 1955).

La certeza absoluta de su mundo ha sido quizá una de las mayores aspiraciones del hombre: "*En el ámbito de su búsqueda de la verdad, así como en el de su aspiración por salvarse, busca sólo, al fin, certidumbre*" (Wust, 1955). Es así como desde los tiempos más antiguos las matemáticas han mantenido una lucha constante con la religión por la preeminencia del conocimiento cierto, la verdad absoluta. Sin embargo, "*...no se puede negar que el espíritu humano, en la esfera de las matemáticas, ha experimentado, siempre, sus más altos triunfos en este estado de cosas concernientes a la certidumbre*" (Wust, 1955) pero, "*...tan pronto como abandonamos la esfera de la ciencia matemática y todo aquello que en cierta forma está enlazado con ella, nos movemos sobre un campo del saber donde la seguridad del conocimiento humano tiene, en unos y otros casos, caracteres problemáticos*" (Wust, 1955).

Cabe preguntarnos, entonces, si es capaz el carácter certísimo de la matemática dar cuenta del carácter incierto de la naturaleza. Para Nietzsche, dado que el mundo es múltiple, cambiante y aparente, y el hombre está guiado por esa multiplicidad a través de los instintos, no podrá existir nunca la verdad absoluta (Botero, 1992). El se opone a la matematización de la realidad. Sin embargo, como lo señala Botero (1992), Nietzsche comparte la ceguera de sus contemporáneos frente a la experiencia de la reflexión como una fuerza productiva del conocimiento. Sigamos, pues, adelante.

Todo objeto matemático - como una figura geométrica, por ejemplo - posee al menos tres características básicas: primero, este se determina y construye dentro del mismo campo matemático; segundo, es homogéneo dado que se trata de una

construcción ideal; y, tercero, posee una exactitud ideal en sí (García, 2001). De esta manera, la matemática tiende hacia una idealización perfecta de las cosas.

Los objetos del mundo físico, sin embargo, son heterogéneos de tal manera que no cumplen con la exactitud y perfección de los objetos matemáticos. "*La matematización de la naturaleza no es otra cosa que la conciliación de la aplicabilidad matemática al mundo natural. Una ciencia como la física-matemática idealiza el mundo real, es decir, los objetos del mundo cumplen con una exactitud impuesta por el método matemático*" (García, 2001), pero no se trata de una exactitud que en sí posean. Así habría que parafrasear con Eddington: cuánto descubrimos y cuánto inventamos nosotros mismos por medio de las matemáticas?²

Certidumbre e incertidumbre: un problema de la matematización de la naturaleza.

El problema entre matemáticas (certidumbre) y naturaleza (incertidumbre) fue enfrentado desde la física atómica a principios de siglo pasado. En 1927 W. Heisenberg planteó su Principio de la Incertidumbre: el hecho de que cada partícula lleve asociada consigo una onda, impone restricciones en la capacidad para determinar al mismo tiempo su posición y su velocidad (Franco, 2001). Esto implica que no es posible conocer la posición y la velocidad de un electrón simultáneamente debido a que en el proceso de determinar la posición se modifica la velocidad, y viceversa.

Este principio ha puesto en evidencia, en cierta forma, los límites del conocimiento humano. Su impacto filosófico ha trascendido la física atómica para alojarse en todas las áreas del conocimiento. Hoy día, es claro que el principio de Heisenberg

² La cita original dice: "cuánto descubrimos y cuánto inventamos nosotros mismos por medio de nuestros experimentos?". Heimendahl, E. 1969. Pag. 174.

no sólo es un límite del conocimiento humano, sino una descripción de la incertidumbre inherente a la naturaleza.

Pero, por otro lado, este principio enuncia no solo un problema de interpretación matemática de la naturaleza en sí, si no, además, un problema fundamental del método científico: el carácter subjetivo de nuestro conocimiento sobre el mundo.

La derrota sufrida por el determinismo de Laplace y la mecánica newtoniana ante el Principio de Incertidumbre de Heisenberg, abrió las puertas para una nueva mirada hacia la naturaleza: la imposibilidad de predecir con certeza los fenómenos que se estudian y la consecuente pérdida de espacio del reinado de las leyes de la naturaleza que lo explican todo. De esta manera, la matemática, por ser esencialmente precisa, no da cuenta de la incertidumbre de la naturaleza; la angustia que esto crea no puede ser resuelta mediante razonamientos y demostraciones matemáticas.

Como hacer, entonces, para conciliar un mundo natural heterogéneo e incierto que requiere ser interpretado mediante el uso de la matemática, una ciencia homogénea y exacta? En el mundo de la mecánica cuántica no se puede predecir con certeza dónde se puede hallar una partícula atómica en un momento determinado: aquí sólo se puede hablar en términos de probabilidades (Imamura, 1995). A pesar de que la mecánica cuántica reclame para sí la aplicación de esta propiedad (Gallego - Badillo, 1996), lo cierto es que tanto el Principio de Incertidumbre como el concepto de probabilidad son aplicables a la naturaleza en sí: *"La estadística no esta hecha para demostrar la existencia del azar o para detectar su presencia. Por el contrario, la estadística descansa en el postulado inicial de que el mundo es probable. Como todos nosotros, el estadígrafo parte del principio de que el mundo existe, sólo que él le pide algo más: le pide que sea probable."* (Ekeland, 1992). Pero, qué tan probable es el mundo? Imamura en su análisis del Principio de Incertidumbre termina señalando lo siguiente: *"No sabemos si este indeterminismo es realmente la*

manera en la que el Universo trabaja debido a que la teoría de la Mecánica Cuántica es probablemente incompleta. Esto es, no conocemos si el Universo realmente se comporta de manera probabilística o si este es determinístico ... " (Imamura, 1995). De cualquier manera, la estadística se ha convertido en la mediadora de estos dos mundos, y más precisamente, el concepto de probabilidad: *"Hoy, la teoría de probabilidad es una rama de las matemáticas bien establecida aplicable en cada área de la actividad académica desde la música hasta la física..."* (Grinstead y Snell, 1997).

La matematización en las ciencias de la producción animal.

Infortunadamente para las ciencias de la producción animal y, en particular, para la nutrición animal, el mecanismo newtoniano y el determinismo laplacista están lejos de haber sido abandonados. Esto es cierto especialmente en el proceso de matematización de los fenómenos que se estudian. En la concepción de muchos de los principios que le dan base a la producción animal, sin embargo, se acepta la subjetividad que arrastra el método de observación tal y como es reconocido por la mecánica cuántica: *"El conocimiento de que la acción recíproca entre los aparatos de medida y los sistemas físicos examinados forman parte integrante de los fenómenos cuánticos, ha descubierto no sólo una limitación inesperada de la concepción mecanicista de la naturaleza, que atribuye a los objetos físicos determinadas propiedades, sino que nos ha obligado a prestar especial atención al problema de la observación en el orden de las experiencias"* ³. Mientras que la física clásica partía de la base de que es posible conocer el mundo independientemente de su observador, es decir, se podía tener una mirada objetiva del mundo, la mecánica cuántica señala todo lo contrario: nuestra mirada sobre el mundo posee un cierto grado de subjetividad que surge durante el proceso de observación. Qué tanto de lo que se observa proviene del fenómeno en sí, qué tanto es producto del método de observación y, qué tanto surge a partir de las condiciones de observación? Finalmente, qué tanto es producto del azar?

³ La cita pertenece a Niels Bohr. Heimendahl, E. 1969. Pag. 176.

La respuesta es bastante "incierta": *"La noción de realidad objetiva se disuelve (así) en la transparente claridad de una matemática que describe, no el comportamiento de los componentes mínimos de la materia, sino el conocimiento que se ha elaborado sobre tal comportamiento"* (Gallego – Badillo, 1996). Esta afirmación encierra dos aspectos fundamentales y que tienen una trascendencia básica para entender el problema de la matematización en las Ciencias Pecuarias: se habla de la existencia de un comportamiento "elaborado" y no del comportamiento real del fenómeno bajo estudio. El origen de esta "elaboración" surge de dos fuentes: primero de las perturbaciones que originan en el objeto bajo estudio el método y las condiciones de la observación; y, segundo, de la construcción del modelo matemático que representa no ya la realidad en sí, o más bien, la realidad "elaborada" por el proceso de observación, sino un objeto matemático (ideal) muy "similar" al objeto modelado (García, 2001).

El primer punto, el del efecto que tiene el proceso y las condiciones de observación sobre el objeto bajo estudio, aunque no es el objetivo de este documento, si merece un comentario: este fenómeno es aceptado de manera consciente en las ciencias de la producción animal: aquí ha existido una desconfianza permanente - de vieja data - sobre la aplicabilidad que tienen los conocimientos generados en los países del hemisferio norte, cuando estos son utilizados en las condiciones que predominan en las zonas tropicales o, lo que es lo mismo, se desconfía de la aplicabilidad que puedan tener los conceptos generados en los países desarrollados cuando estos son llevados a los países en desarrollo. Así, Leng (1995) señala que una de las razones por las cuales los científicos han contribuido poco al incremento en la producción animal en los países en desarrollo, ha sido el bajo conocimiento e ignorancia en las diferencias que existe en cuanto a los requerimientos nutricionales de los animales domésticos en los trópicos en comparación con los de las zonas templadas.

En esta afirmación de Leng se habla de uno de los dos problema fundamentales en el desarrollo del conocimiento que le da bases a las ciencias de la producción

animal discutidos previamente: el de las condiciones bajo las cuales se genera el conocimiento.

Veámoslo de otra manera. Bertrand Russel señala que cuando Galileo estaba estableciendo la ley de la caída libre de los cuerpos, *"el hecho de que en el vacío una pluma y un pedazo de plomo caigan igualmente de prisa era más importante que el hecho de que, en el aire, una pluma caiga más despacio, toda vez que el primer paso para estudiar los cuerpos que caen consistía en probar que teniendo en cuenta sólo la atracción de la tierra, todos ellos tienen la misma aceleración. El efecto de la resistencia del aire debía ser tratado como algo sobreañadido a la atracción de la tierra"* (Russell, 1983). Esta reflexión de Russel es bien interesante dado que nos incita a pensar que en la naturaleza existen comportamientos mucho más generales de lo que la experiencia nos puede "mostrar" y que las condiciones de experimentación terminan siendo únicamente "sobreañadidos" que encubren el comportamiento que se pretende establecer, lo que en esencia es importante.

Para Preston (1989), uno de los más férreos defensores de esta doctrina, sin embargo y a diferencia de Leng (1995), el problema que implica el hacer uso de la información generada en otras latitudes, está en el "origen" de los datos más que en los efectos de las condiciones ambientales (condiciones de experimentación) sobre los requerimientos nutricionales de los animales domésticos. Su crítica apunta más sobre las características de los sistemas de producción que prevalecen en los países desarrollados frente a los que existen, o deberían existir, en los países en desarrollo. Más aún, la crítica se centra no en las bases científicas que sustentan a la producción animal en sí, si no más bien, al uso que se da a estas bases en la elaboración de técnicas de producción: *" Los errores del pasado - dice Preston - en la transferencia de tecnología pueden ser establecidos en las equivocaciones cometidas para comprender los aspectos fundamentales que se deben considerar antes de embarcarse en el diseño de tecnologías. De estos, los más importantes serían: cuales son las limitaciones que gobiernan el*

diseño de tecnologías? Son estas las mismas tanto para países desarrollados como para países en desarrollo o existen diferencias básicas que se deben tomar en cuenta? La experiencia del Tercer Mundo nos dice que mientras que los principios científicos que fundamentan las tecnologías son las mismas, las tecnologías en sí mismas deben ser diferentes". Estas afirmaciones de Preston que datan de la década de los ochenta, sin embargo, descansan en una serie de prejuicios y en un razonamiento para la autocracia de la sociedades, razonamiento que le dio sentido al más férreo de los sistemas feudales como el que reinó durante la edad media europea y fue asiento de algunas economías autocráticas en el pasado, pero que no tienen sentido en el presente y, menos aún, en el futuro.

Sin detenernos más en este asunto, ya que no es tema central de este documento, vamos a analizar el segundo, y lo vamos a analizar desde dos puntos de vista: desde la construcción de los modelos matemáticos y el del valor estadístico (probabilístico) de tales modelos.

La modelación (matemática) es básicamente una técnica que usa las matemáticas para describir la relación entre dos o más parámetros (Coburn, 1992). Un modelo matemático, por su parte, puede ser definido como una ecuación o conjunto de ecuaciones que representan el comportamiento de un sistema (Spedding, 1988). De esta manera, el problema se reduce en hallar la ecuación o conjunto de ecuaciones que representan, de la manera más adecuada (fidedigna) posible el comportamiento de los fenómenos bajo estudio: en esencia se trata de resolver un problema de similitudes. Poder establecer cuál es el tipo de ecuación que se requiere para modelar los fenómenos biológicos que subyacen en el comportamiento del objeto de estudio de las Ciencias de la Producción animal, es dar respuesta a las pregunta iniciales: Qué tan adecuadas son las matemáticas que se enseñan y se utilizan en las ciencias de la producción animal; qué tan adecuados son los modelos matemáticos que se diseñan para expresar los

fenómenos que son objeto de estudio de esta área del conocimiento; y finalmente, cual es la interpretación biológica de tales modelos?

Una aproximación inicial para responder a estas preguntas descansa en el hecho de que una gran proporción de la matemática utilizada en las ciencias biológicas - incluidas las ciencias de la producción animal -, es simplemente álgebra y cálculo muy básico. Adicionalmente, se utiliza algo de álgebra matricial, teoría de probabilidad, y estadística (Otto, 2000). La geometría euclidiana, así mismo, hace parte de este reducido pertrecho de conocimientos matemáticos aplicados en la biología. Pare de contar: esta simpleza se reconoce en la afirmación de Coburn (19092) cuando señala que *"...cualquiera que halla desarrollado una ecuación de regresión lineal o un análisis de correlación ya ha ganado algo de experiencia en la modelación"*. Es así de simple. Ahora, no por tratarse de una ecuación muy compleja esta es de por sí más adecuada que una ecuación simple como modelo para expresar un determinado fenómeno biológico: *"Muchos sistemas biológicos son el resultado del entretrejado de interacciones de comportamientos simples, cuyo resultado es un sistema complejo...En tal situación, es crítico tener un modelo que nos ayude a comprender la estructura del fenómeno, y nosotros buscamos en las ciencias matemáticas las herramientas con las cuales construir e investigar tales modelos. Aunque los datos experimentales de los sistemas biológicos y los modelos resultantes pueden aturdirnos en su complejidad, un modelo mínimo puede muchas veces exponer la estructura esencial"* (Casella et al, 2001).

Volvamos por un momento a las dos ecuaciones propuestas para estimar el CMS en vacas lactantes que se presentaron arriba. Cual de estas dos ecuaciones es más adecuada como modelo matemático para expresar el fenómeno en cuestión? La primera es muy simple y depende de un único factor; la segunda, en cambio, es bastante compleja y depende de cuatro factores. En la primera ecuación, el factor es externo al animal; en la segunda, todos los factores son variables que se miden en el animal. La primera calcula la capacidad de consumo máximo, no el

consumo en sí, de tal manera que solo es útil en condiciones de consumo *ad libitum*; la segunda, determina el consumo que se supone tiene el animal y es válida aún en condiciones de restricción en el acceso al alimento. La primera depende de que el animal consuma un alimento con un contenido homogéneo de FDN; en la segunda, la composición de la dieta no es relevante. En esencia, se trata de dos ecuaciones con características bien diferentes, entonces, cómo determinar cuál es más adecuada?. Aunque el análisis de estas y otras características (como facilidad de determinación de las variables en consideración, costo de determinación de tales variables, facilidad de cálculo de las ecuaciones, etc.) se deben tener en cuenta, la respuesta última se puede hallar en la estadística y solo allí. Existen diversos métodos estadísticos para resolver este problema (Bateman *et al*, 2001): para algunos es suficiente la comparación entre los coeficientes de determinación de cada modelo de predicción (Roush y Cravener, 2000), mientras que para otros es necesario adelantar análisis estadísticos más complejos como el del análisis del cuadrado medio del error de predicción (Alcaráz *et al*, 2001). Al final, el problema no se sale de las matemáticas ya sea que se trate de una ecuación lineal simple o una ecuación exponencial empírica, la estadística, una rama de las matemáticas, resuelve cualquier duda: la interpretación biológica aparece como un apéndice y la discusión matemática se reduce a la valoración estadística.

De esta manera no es difícil observar que el peso que tienen las matemáticas en el desarrollo del conocimiento en las ciencias pecuarias es tan alto que es suficiente que una expresión matemática utilizada para modelar un fenómeno cualquiera sea matemáticamente lógica y estadísticamente probable para ser aceptada. No importa si es biológicamente inexplicable. La biología queda relegada al último término; en primer lugar está la lógica de la expresión matemática y, en segundo lugar, está su relevancia estadística. Así, al igual que en la física, en las ciencias de la producción animal se construye un mundo idealizado por las matemáticas. Más aún, sin temor a equivocaciones es posible afirmar que la probabilidad se refiere no a la posibilidad de que un fenómeno

pueda darse, sino a la posibilidad de que una expresión matemática permita estimar la presentación de un suceso.

La sospecha que recae en la generalización que se pueda hacer de la información generada en otras latitudes, se puede deber, en cierta forma, a que antes que buscar expresiones que sean biológicamente explicables, se buscan expresiones que sean matemáticamente lógicas. Este tipo de expresiones, que se denominan ecuaciones empíricas en el argot de la simulación matemática, tienen validez (estadística) dentro del rango de datos con el que son generadas (Riggs, 1963; citado por Baldwin, 1992). Las ecuaciones teóricas, por su parte, que son derivadas de la teoría fundamental de la naturaleza del fenómeno bajo estudio, son capaces de describir cualquier dato y explicar las relaciones existentes que son observadas entre variables: *"Cuando un modelo conformado por ecuaciones teóricas es completo, está implicado todo el conocimiento de las relaciones causales dentro del sistema y los resultados de los cálculos pueden ser extrapolados a un amplio rango de realidades"* (Baldwin, 1992).

Esto implica que es posible generar expresiones matemáticas (teóricas) cuya validez sea mucho mayor que aquellas que frecuentemente se generan, si se antepone la necesidad de su explicación biológica en lugar de su lógica matemática.

Por otro lado, se hace necesario considerar que muchos de los fenómenos que se estudian en la producción animal varían en función del tiempo por lo que se requiere predecir la acumulación de respuestas en el tiempo. Para ello es necesario desarrollar modelos matemáticos basados en el cálculo diferencial, modelos que reciben el nombre de dinámicos en contraposición a los modelos estáticos. Estos últimos usualmente son planteamientos algebraicos que permiten predecir el comportamiento de una variable para momentos determinados bajo condiciones específicas. La mayoría de los sistemas alimenticios que actualmente se utilizan son esencialmente estáticos dado que predicen los requerimientos de

nutrientes de un animal, para un momento determinado y con un peso, edad, sexo y nivel de producción conocidos. Esta aproximación es fundamentalmente factorial y se basa en la presunción de absoluta independencia entre los requerimientos para cada uno de los factores en cuestión (mantenimiento, crecimiento, gestación y producción) pero esto no es cierto, los modelos dinámicos, por el contrario, no requieren de esta presunción (Baldwin, 1992).

Pero no por tratarse de expresiones que puedan explicarse en términos biológicos y ser validadas estadísticamente, el mecanicismo newtoniano y el determinismo laplacista, se superan. De hecho, las expresiones más comúnmente utilizadas en las ciencias de la producción animal son de carácter determinístico: *"el termino determinístico implica que todas las soluciones de una ecuación o conjunto de ecuaciones son exactas. En las ciencias animales, el uso de estas expresiones implica que las soluciones aplican específicamente al promedio de la población de los animales"* (Baldwin, 1992). La ausencia en estas expresiones de un estimador de incertidumbre, es lo que las hace determinísticas.

El término estocástico, por el contrario, indica la acomodación de un indicador de incertidumbre en el modelo. Aquí hay dos posibilidades: primero que existan fuentes de variación no reconocidas o sin explicación y que, por lo tanto, no se pueden cuantificar dentro del modelo; y segundo, que existan causas conocidas de variación en el comportamiento animal, las cuales se pueden incorporar en el modelo y cuantificar. En el primer caso, el coeficiente de determinación es un estimador de qué tanto se conoce de las fuentes de variación del fenómeno; en el último caso, la desviación estándar permite estimar la variación de una fuente de variación particular dentro del modelo (Baldwin, 1992). Pero, no por el hecho de tratarse de modelos estocásticos, estos son más válidos que los determinísticos. Con la incorporación del estimador de incertidumbre, por sí misma, no es garante de que se ha abandonado el determinismo al que se refería Laplace. Este seguirá vivo hasta tanto el concepto filosófico del significado que tiene la incertidumbre en la predicción de los fenómenos estudiados por la producción animal, no se

incorpore. Por otro lado, el mecanicismo newtoniano está vigente de manera manifiesta en el hecho de plantearse modelos matemáticos que representan situaciones ideales y no el comportamiento de los procesos bajo estudio en sí. La naturaleza de los procesos biológicos son frecuentemente más complejos que la simpleza de los modelos que se logran desarrollar mediante la matemática que clásicamente se ha empleado allí.

Teniendo en mente esta discusión, parece ser, entonces, que los aportes que logran el álgebra, el cálculo básico y la geometría euclidiana, son insuficientes para dar cuenta de las "formas" de la naturaleza, los fenómenos de la naturaleza del objeto de estudio de las ciencias pecuarias. La mecánica de Newton (y por ende, el determinismo de Laplace) se levantó sobre la geometría euclidiana. Con la mecánica cuántica, sin embargo, esta geometría y la mecánica newtoniana (y por ende, el determinismo de Laplace), fueron relevadas como imagen parcial de un mundo cuyo comportamiento las sobrepasaba (Gallego - Badillo, 1996).

La geometría euclidiana constituye una considerable abstracción de la realidad. Por ejemplo, supone que un punto no tiene tamaño; que una línea es un conjunto de puntos que no tienen ni ancho ni grueso, solamente longitud; que una superficie no tiene ancho, etcétera. En vista de que el punto no tiene tamaño, se le asigna una dimensión nula o de cero. Una línea tiene solamente longitud, por lo que adquiere una dimensión igual a uno. Una superficie no tiene ancho, por lo que tiene dimensión dos. Finalmente, un cuerpo sólido, como un cubo, tiene dimensión tres. De hecho, en la geometría euclidiana las únicas dimensiones posibles son las que corresponden a los números enteros: 0, 1, 2 y 3 (Braun, 1996). Bajo estas dimensiones se describen los objetos ideales que comúnmente se simulan mediante la matemática que clásicamente se utiliza en la modelación de los fenómenos biológicos, sin embargo, como lo advierte Mandelbrot, "la ciencia ha de proceder por series de imágenes o modelos cada vez más <realistas>" (Mandelbrot, 1984) que sean capaces de representar la irregularidad que caracteriza muchos fenómenos de la naturaleza. Bajo este dominio, "*el modelo*

continuo y perfectamente homogéneo (que se construye con la geometría euclidiana) fracasa y no puede servir ni tan sólo como primera aproximación. Se trata de los dominios en los que la física ha fracasado y de los que los físicos prefieren no hablar. (Esto era verdad en 1975, pero hoy lo es cada vez menos)" (Mandelbrot, 1984).

Por esta razón hoy se afirma que la geometría euclidiana está en franca crisis y que sus postulados se han puesto en discusión a la luz de una nueva geometría: la geometría fractal (Lanz, 1994), la cual se ha constituido en el avance más importante sucedido en las matemáticas durante las dos últimas décadas. Esto ha sido así debido a que a medida que el conocimiento sobre la naturaleza se ha incrementado, la visión del hombre sobre esta ha buscado ser perfeccionada y, así, se hace necesario desarrollar métodos matemáticos que describan de forma más apropiada "la realidad".

Geometría fractal.

El descontento que ha generado el fracaso de la geometría euclidiana como soporte desde el cual representar los fenómenos de la naturaleza, es bastante marcado. Es así como García (2001) afirma tajantemente que *"la pérdida de sentido de las ciencias surge cuando las mismas inducciones geométricas que idealizan el mundo comienzan a perder su referencia inmediata a él. Así, la geometría creó una verdad absoluta a través de unas formas puras o intuir propio evidente y apriorístico. Con la aritmetización de la naturaleza o aplicación del álgebra al método matemático de la naturaleza ya no existe una referencia a las formas puras del mundo, su referencia es vacía, puesto que como se dijo anteriormente, las fórmulas son sólo combinaciones de números y proposiciones en general que no tienen una referencia a un cuerpo físico en particular, sino a fenómenos que ocurren en objetos en general"*. Mandelbrot (1984), por su parte se lamenta al señalar que "la abstracción forzada, la importancia dada a la formalización, y la proliferación de los conceptos y términos, hacen a menudo más

mal que bien. No soy el último que lamenta que las ciencias menos exactas, aquellas cuyos mismos principios son los menos seguros, sean axiomatizadas, rigorizadas y generalizadas con suma pulcritud" (Mandelbrot, 1984). Basado en esta idea, Mandelbrot (1984) pasa a desarrollar el concepto de geometría fractal.

La expresión fractal viene del latín *fractus*, que significa fracturado, roto, irregular. La expresión, así como el concepto, aparecen como tales a finales de la década de los setenta y principios de los ochenta. Los fractales están asociados con la dinámica de sistemas no lineales, es decir, de sistemas que no responden a los estímulos en proporción directa pero cuyas matemáticas se desarrollaron con independencia de la dinámica no lineal (de Guzmán, 1999).

Al igual que en la geometría euclidiana, la dimensión de los objetos se constituye en la principal característica de cualquier objeto fractal. Esta mide el grado de irregularidad o de interrupción del objeto. Sin embargo, a diferencia de la geometría euclidiana en la que las dimensiones son números enteros (0, 1, 2 ó 3), en la geometría fractal, estas pueden ser fracciones, como $1/2$ ó $3/4$, ó números irracionales tales como $\log 4/\log 3$. Así, resulta útil decir - señala Mandelbrot - que para ciertas curvas planas muy irregulares la dimensión fractal está entre 1 y 2, o decir que para ciertas superficies muy hojaldradas y llenas de convulsiones la dimensión fractal es intermedia entre 2 y 3, y finalmente definir polvos sobre la recta cuya dimensión fractal está entre 0 y 1 (Mandelbrot, 1984).

Uno de los ejemplos más cercanos de la aplicación de la geometría fractal en las Ciencias Pecuarias, es la representación matemática de la relación entre el peso y la actividad metabólica. Según esta relación, no podrían existir vacas diez veces más grandes de las que hay porque explotarían si los parámetros vitales (duración de la vida, pulso, ritmo metabólico, fuerza) no se ajustan proporcionalmente al tamaño. Estos están gobernados por delicadas relaciones matemáticas, que desde hace tiempo funcionan como uno de los enigmas de la biología (Lotersztain, 2002). Sin embargo, recientemente un par de ecólogos y un físico de partículas,

dieron a conocer una posible solución al problema. Pero además, afirman haber encontrado una ingeniosa argucia de la evolución, que para desarrollarse recurre a objetos fractales (West et al, 1997). Las relaciones en escalas alométricas, incluyendo la ley de la potencia de $3/4$ para tasas metabólicas, son características de todos los organismos, y se derivan de un modelo general que describe la manera en la que los materiales esenciales son transportados a través de tubos ramificados que se describen fractalmente. El modelo asume que la energía disipada es minimizada y que los tubos terminales no varían con el tamaño del cuerpo. Esto suministra un análisis completo de las relaciones en escala para el sistema de circulación sanguíneo en mamíferos que concuerda con los datos reales. De manera general, el modelo predice las propiedades funcionales y estructurales de los sistemas cardiovascular y respiratorio de los vertebrados, los sistemas vasculares de los vegetales, el sistema de tubos traqueales de los insectos, y otras redes de distribución.

Las estructuras fractaliformes abundan entre los organismos superiores: se observan en las redes nerviosas, los vasos sanguíneos y las de otros conductos. Al parecer, el sistema fractal más cuidadosamente estudiado del cuerpo humano es el de los tubos pulmonares encargados del transporte y evacuación de gases. Pero también se ha observado una red fractaliforme de arterias y venas coronarias que aportan sangre a los músculos cardíacos y la evacúan de ellos así como en la envoltura de fibras de tejido conjuntivo que une las válvulas mitral y tricúspide a la musculatura cardíaca subyacente (Goldberg et al, 1991).

No es extraño, entonces, encontrar cada vez más formas y comportamientos fractales en fenómenos que hacen parte de las Ciencias Pecuarias ya que los fractales, desde su primera formulación, tuvieron una vocación práctica de servir como modelos para explicar la naturaleza (Zapata, 1996). Fue el propio Mandelbrot (1984) quién tuvo el mérito de intuir la potencia de los fractales para construir modelos que explicasen la realidad, y esto lo hizo desde su primera formulación y desde sus primeros trabajos que, con un notable afán práctico y

divulgador, están dedicados al problema de medir la costa de Gran Bretaña (Mandelbrot, 1984).

Habría que preguntarse con Zapata (1996), sin embargo si existen realmente fractales en la naturaleza. Esta pregunta - señala este autor -, *"que es legitimo hacerla, e incluso responderla negativamente, es decir negando la existencia de los fractales en la naturaleza, es la misma que se hace cuando se pregunta si existen superficies planas o lineas rectas en la naturaleza, o si existen esferas. Sería como suponer que en la naturaleza no existen esferas por que la Tierra, u otros planetas, no se ajustan con precisión a lo que es una esfera ideal tal como se define en Matemáticas"*.

No obstante esto, se debe considerar la posibilidad de incluir el estudio de los fractales en la geometría de los estudiantes de las Ciencias Pecuarias, no solo por las razones de tipo curricular, sino además, por razones de actualización científica. De esta forma, y siguiendo las ideas de Zapata (1996), sería la primera vez que se incluyeran contenidos matemáticos sustantivos, no instrumentales como pueda ser el caso de la teoría de conjuntos, cuya formulación haya sido posterior al siglo XVIII.

Existen además las razones puramente derivadas de la estética, o de la curiosidad, que producen la observación y el estudio analítico de estas curvas, y que estimula la formulación de modelos matemáticos o geométricos, que permitan comprender fenómenos científicos o tecnológicos de cierta profundidad.

Es importante señalar, finalmente, que aunque los fractales no permiten explicar ni dar modelos para describir todas las formas naturales, por primera vez nos encontramos frente a un planteamiento que permite describir y dar respuesta a formas geométricas tan distintas como las que tienen los objetos descritos. Además el planteamiento es muy atractivo por dos razones: La primera por su sencillez, y por su capacidad para ser computarizado en forma relativamente

sencilla, y la segunda por dar modelos para representar y describir algorítmicamente una gran variedad de formas naturales (Zapata, 1996).

De esta manera, la geometría fractal parece adecuarse mejor al proceso de matematización de las irregularidades de los fenómenos que se estudian en las ciencias pecuarias. Esto no quiere decir, sin embargo, que la geometría clásica, la euclidiana, deba ser reemplazada por la geometría fractal. Significa que además de la geometría euclidiana, la fractal podría hacer grandes aportes al entendimiento y matematización que busca "...intervenir, controlar y dominar el mundo y el curso de los acontecimientos..." (Gallego – Badillo, 1996). Por que se hace necesario recalcar que en última instancia, lo que pretenden las ciencias experimentales como lo son las ciencias pecuarias, el objetivo último, es el de simular y predecir los fenómenos que se estudian y para ello se requieren herramientas que permitan que esa simulación y predicción se ajusten a los comportamientos propios de tales fenómenos reduciendo los errores e incrementando la precisión.

De esta manera queda claro que el papel más importante de las matemáticas es precisamente el de ser la base para construir tales modelos. Entendiendo esto, el proceso lógico para alcanzar este propósito es el de partir por reconocer los "comportamientos" que expresan los fenómenos que se estudian y, a renglón seguido, establecer los procedimientos matemáticos que mejor se ajusten a tales comportamientos. Esta ha sido precisamente la base sobre la que se ha erigido la geometría fractal. El proceso contrario, el de ajustar forzosamente los comportamientos tal y como ellos se presentan, a las formas de la geometría euclidiana, ha generado muchas dificultades para la comprensión de tales fenómenos.

Con estas últimas reflexiones dejo mi intento por darle un significado a las matemáticas acorde al estudio y alcances de la investigación en las ciencias pecuarias.

Alcaráz, C., D. Alviar y H. J. Correa. 2001. Evaluación del modelo MUN para la estimación del consumo de materia seca (CMS) en vacas lactantes. Memorias VI Encuentro Nacional de Investigadores de las Ciencias Pecuarias. Medellín, 8 y 9 de noviembre de 2001.

Baldwin, R.L. 1992. Integration of computer technology into research. In: Collection; Computer applications in animal agriculture workshop. En: NDD - Advanced Computer Applications in Animal Agriculture: Proceedings of the conference University of Maryland http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/aaaa/INTEGRATION_OF_COMPUTER_RESEARCH.htm

Bateman, H. G., J. H. Clark, R. A. Patton, C. J. Peel, and C. G. Schwab. 2001. Prediction of crude protein and amino acid passage to the duodenum of lactating cows by models compared with in vivo data. J. Dairy Sci. 84: 665- 679.

Bejarano, J. A. 1986. Notas para una historia de las Ciencias Agropecuarias en Colombia. Ciencia, Tecnología y Desarrollo, 10 (1 – 2):115 – 174.

Bochner, S. 1991. El papel de las matemáticas en el desarrollo de la ciencia. Alianza editorial, Madrid.

Botero, D. 1992. Nietzsche: la voluntad del poder. Empresa Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Braun, E. 1996. Caos, fractales y cosas raras. Primera edición. Fondo de cultura económica, México. <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/150/htm/caos.htm>

Casella, G., R. Wu, S. Wu, and S. Weidman. 2001. Making Sense of Complexity: Summary of a Workshop on Dynamical Modeling of Complex Biomedical Systems. <http://www.stat.ufl.edu/~casella/class/Section1.pdf>

Clavijo, P (Editor). 2001. Almanaque anual 2002. Editora Cinco, Bogotá.

Coburn, S. 1992. Application of models to the determination os nutrient requirements: an overview. J. Nutr. 122: 687 - 689.

Cossio, J.y D. M. Tejada. 1999. Errores típicos en matemáticas de los estudiantes de primer semestre de Universidad. Revista Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 128: 1 - 8.

Crandall, B. 1992. A historical perspective of computer technology in animal agriculture. En: NDD - Advanced Computer Applications in Animal Agriculture: Proceedings of the conference University of Maryland http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/acaaa/A_HISTORICAL_PERSPECTIVE_OF_COMPUTER_TECHNOLOGY.html

de Guzman, M. 1999. Matemáticas y estructura de la naturaleza. Philosophy of mathematics education journal (11). <http://www.mat.ucm.es/deptos/am/guzman/guzman.htm>

Delgado, A. 1948. Notas para un curso de aritmética analítica. Facultad Nacional de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Ekeland, I. 1992. El azar. La suerte, la ciencia y el mundo. Editorial Gedisa, Barcelona.

Franco, A. 2001. Mecánica cuántica. Universidad del País Vasco. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/difraccion/difraccion.htm>

Gallego-Badillo, R. 1996. Discurso constructivista sobre las ciencias experimentales. Una concepción actual del conocimiento científico. Cooperativa editorial Magisterio, Bogotá.

García V., A. D. 2001. Fenomenología y mundo de la vida. Revista de Ciencias Humanas, UTP. No. 25. <http://www.utp.edu.co/~chumanas/revistas/revistas/rev25/index.htm>

Goldberger, D. Ringe and B. West, "Caos y fractales en la fisiología humana. Scientific American, Primera edición, 109-116, 1991.

Grant, R., B. Anderson, R. Rasby, and T. Mader. 1997. Testing Livestock Feeds For Beef Cattle, Dairy Cattle, Sheep and Horses. <http://www.ianr.unl.edu/pubs/range/g915.htm>

Grinstead, Ch., and J. Snell. 1997. Introduction to probability. Dartmouth College. Pag vii. http://www.dartmouth.edu/~chance/teaching_aids/books_articles/probability_book/book.html

Heimendahl, E. 1969. Física y filosofía, dialogo de occidente. Ediciones Guadarrama, Madrid.

Imamura, J. 1995. Heisenberg Uncertainty Principle. <http://zebu.uoregon.edu/~imamura/208/jan27/hup.html>

Jones, L. 1992. Future computer technologies for animal agriculture. En: NDD - Advanced Computer Applications in Animal Agriculture: Proceedings of the conference University of Maryland http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/acaaa/FUTURE_COMPUTER_TECHNOLOGIES_FOR_ANIMAL_AGRICULTURE..

Lanz, R. 1994. Repensar la técnica. Apuntes del seminario Repensar la Técnica No1. Fundaragua, Maracay, Estado Aragua, Venezuela. <http://www.orbitas.com/revista2/page1.shtml>

Leng, R. 1995. Appropriate Technologies for Field Investigations in Ruminant Livestock Nutrition in Developing Countries. En: Agricultural Sciences for Biodiversity and Sustainability in Development Countries - Proceedings of a Workshop. The Royal Vet. and Agric. University, GrØnnegaardsvej 2, Denmark. <http://www.husdyr.kvl.dk/htm/php/tune95/index2.htm>

Lotersztain, I. 2002. Bacterias, rinocerontes y fractales. <http://www.archipelago.org/bacterias.htm>

Mandelbrot, B. 1984. Los objetos fractales. Forma, azar y dimensión. Tusquets Editores, Barcelona, España. Pg. 14.

National Intelligence Council. 2000. Global Trends 2015: A Dialogue About the Future With Nongovernment Experts. <http://www.cuestiones.ws/nov01-2015-en.htm>. Obtenido el 5 de enero de 2002.

National Research Council. 2001. The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition. National Academy Press, Washington, D. C. 381 p.

Nietzsche, F. 1982. Así habló Zarathustra. Editorial Oveja Negra, Bogotá.

Otto, S. 2000. Biomathematics. Lectures notes: course philosophy. <http://www.zoology.ubc.ca/~bio301/>

Preston, T. 1989. Feeding dairy cows in the tropics. En: Matching livestock systems with available resources. <http://www.fao.org/WAICENT/Faoinfo/Agricult/AGA/AGAP/FRG/AHPP86/ahpp86.htm>

Riggs, D. S. The Mathematical Approach to Physiological Problems. M.I.T. Press, Massachusetts. 1963. Citado por: Baldwin, R.L. 1992. Integration of computer technology into research. In: Collection; Computer applications in animal agriculture workshop. En: NDD - Advanced Computer Applications in Animal Agriculture: Proceedings of the conference University of Maryland http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/aaaa/INTEGRATION_OF_COMPUTER_RESEARCH.htm

Roseler, D. K., D. G. Fox, L. E. Chase, A. N. Pell, and W. C. Stone. 1997. Development and evaluation of equations for prediction of feed intake for lactating holstein dairy cows. J. Dairy Sci. 80: 878 – 893.

Roush, W. and T. L. Cravener. 2000. Artificial Neural Networks: An Advanced Modeling Method for Prediction of Nutrient Levels in Feed Ingredients. **En:** Mathematical Modeling in Nutrition and the Health Sciences Conference, The Pennsylvania State University. July 29-August 1. <http://poultry.cas.psu.edu/MgtSci/Files/nutrmodelingconf.doc>

Russell, B. 1983. La perspectiva científica. Editorial Sarpe S. A., Madrid.

Spedding, C. R. W. 1988. General aspects of modelling and its application in livestock production. Kluwer Academic Publishers for the Commission of the European Communities.

Valencia, G. 1997. Conversaciones con Estanislao. Fundación Estanislao Zuleta, Cali.

Villaveces, J. L. 2000. Química y epistemología, una relación esquiva. Rev. Col. Fil. Ci. Nos. 2/3, Vol. 1.

Uribe, J. A. S. F. El bajo rendimiento en los primeros cursos de matemáticas en la Universidad. Diagnóstico y propuesta. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias. El Autor

West, G. B., J. H. Brown and B. J. Enquist. 1997. A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. Science, Vol. 276 (5309): 122.

Wust, P. 1955. Incertidumbre y riesgo. Ediciones Rialp, S. A., Madrid.

Zapata, M. 1996. Integración de la geometría fractal en las Matemáticas, y en la Informática, de Secundaria. http://platea.pntic.mec.es/~mzapata/tutor_ma/fractal/fracuned.htm

LA SECCIÓN DE NUTRICIÓN ANIMAL DEL DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA EN SU SEDE DE MEDELLÍN HA VENIDO DESARROLLANDO DESDE PRINCIPIOS DE LA DÉCADA DE 1990 LA LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN EN EVALUACIÓN DE RECURSOS ALIMENTICIOS Y SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ANIMAL, LÍNEA QUE SE APOYA EN LAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN CON EL MISMO NOMBRE AL INTERIOR DE LAS CUALES SE REALIZAN TRABAJOS DE GRADO CON ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE ZOOTECNIA.

ESTA SECCIÓN HA CONSIDERADO NECESARIO PONER A CONSIDERACIÓN DEL PÚBLICO INTERESADO EN LOS DIVERSOS TEMAS RELACIONADOS CON LA NUTRICIÓN Y LA ALIMENTACIÓN ANIMAL ARTÍCULOS TÉCNICOS QUE SIRVAN DE APOYO Y GUÍA PARA EL MANEJO RACIONAL DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL QUE EXISTEN EN EL PAÍS.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO DE PRODUCCION ANIMAL
SECCION DE NUTRICION ANIMAL
Tel 430 90 24 Fax: 430 9025 Cll 64 x Cra 65 Autopista Norte AA 1027
Medellín - Colombia