

ENFOQUE SISTÉMICO DE LA PRODUCCIÓN PECUARIA

Javier Andrés Martínez Benavides

Henry Jurado Gámez

John Jairo Parreño Salas



Editorial
Universidad de Nariño



Editorial

Universidad de **Nariño**

ENFOQUE SISTÉMICO
DE LA **PRODUCCIÓN**
PECUARIA

ENFOQUE SISTÉMICO
DE LA **PRODUCCIÓN**
PECUARIA

Javier Andrés Martínez Benavides

Henry Jurado Gámez

John Jairo Parreño Salas



Editorial
Universidad de Nariño

Martínez Benavides, Javier Andrés

Enfoque sistémico de la producción pecuaria / Javier Andrés Martínez Benavides, Henry Jurado Gámez y John Jairo Parreño Salas. -- San Juan de Pasto : Editorial Universidad de Nariño, 2022
76 p. : il. byn., col.

Incluye bibliografía p. 71-75

ISBN: 978-628-7509-40-5

1. Producción animal 2. Sistemas pecuarios 3. Producción agropecuaria 4. Forrajes 5. Ganado vacuno--Producción 6. Cerdos--Producción 7. Cuyes--Producción I. Jurado Gámez, Henry II. Parreño Salas, John Jairo

636.08 M385 – SCDD-Ed. 22



Sección de Biblioteca
"Alberto Quijano Guerrero"

Enfoque sistémico de la producción pecuaria

© Editorial Universidad de Nariño
© Javier Andrés Martínez Benavides
Henry Jurado Gámez
John Jairo Parreño Salas

Fecha de publicación: diciembre de 2022
San Juan de Pasto – Nariño

Diseño y diagramación:
Xpress Estudio Gráfico y digital
Bogotá, D.C. - Colombia

Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio
o con cualquier propósito, sin la autorización escrita de su
autor o de la Editorial Universidad de Nariño.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	13
2. HISTORIA	15
3. CONCEPTOS BÁSICOS	19
3.1 SISTEMA.	19
3.2 El reduccionismo.	23
3.3 Mecanicismo.	25
3.4 El Enfoque Sistémico (ES).	26
3.4.1 Clasificación de sistemas.	29
3.4.2 Propiedades de los sistemas.	32
3.4.2.1 Emergencia.....	33
3.4.2.2 Sinergia.	33
3.4.2.3 Entropía.	35
3.4.2.4 Retroalimentación.	36
3.4.2.5 Homeostasis.	38
3.5. Elementos y Componentes de un Sistema.....	39
3.5.1 Componentes.	39
3.5.1.2 Estructura en serie.	40
3.5.1.3 Estructura paralela.	40
3.5.1.4 Estructura realimentada.	41
3.5.2 Elemento.	41
4. LA EMPRESA AGROPECUARIA COMO SISTEMA	47
4.1 Conceptualización.	47
5. MODELOS COMO HERRAMIENTA PARA EL ENFOQUE SISTÉMICO	65
5.1 Modelos cualitativos.	66
5.2 Modelos cuantitativos.	68
Referencias	71

Lista de figuras

Figura 1. Partes que componen un sistema de ordeño.....	22
Figura 2. Sistema de ordeño ensamblado y la gestión del ser humano.....	22
Figura 3. Variabilidad en la producción de cerdos semanales en dos empresas porcícolas.....	28
Figura 4. Sistemas cerrados.	31
Figura 5. Sistemas abiertos	31
Figura 6. Sinergia en un grupo de naranjas.	34
Figura 7. Efecto sinérgico en un sistema de producción porcina.	35
Figura 8. Efecto de la entropía.	36
Figura 9. Estructura en serie.	40
Figura 10. Estructura paralela.	40
Figura 11. Límite de un sistema.	45
Figura 12. Cuy y su fisiología como un sistema.	51
Figura 13. Uso de la energía en el sistema cuy.	52
Figura 14. Componente forrajero	54
Figura 15. Componentes forrajero y animal.	55
Figura 16. Subsistema biológico que concurren en la formación del sistema de producción de carne de cuy.	59
Figura 17. Tipos de modelos	63
Figura 18. Modelación cualitativa de un sistema de producción cuyícola	67
Figura 19. Etapas para realizar una correcta modelación de los sistemas pecuarios.....	69

1. INTRODUCCIÓN

Los pequeños agricultores se enfrentan al desafío de la entrada de productos como leche, huevos, carne, etc. como consecuencia de la firma de tratados de libre comercio (TLC). Junto a lo anterior, la actual dinámica poblacional hace prever que para el 2030 la población mundial se encontrará concentrada en las zonas urbanas; esto evidencia la necesidad de mejorar las condiciones de vida de los agricultores, siendo un imperativo para los gobiernos y sociedades actuales (FAO, 2017). Los pequeños agricultores se encuentran con obstáculos en la producción como extrema pobreza, fragilidad de los derechos de propiedad, deficiente acceso a los mercados y servicios financieros, vulnerabilidad a la crisis y baja tolerancia al riesgo (Salcedo y Guzmán, 2014). La agricultura a pequeña escala ha recibido poco apoyo cuando se compara su contribución a la alimentación básica, la sostenibilidad ambiental y el empleo. Esta agricultura será fundamental en afrontar los problemas del cambio climático y la seguridad alimentaria, dos de los retos mayores que enfrenta el mundo actual (FAO, 2016).

Los actuales sistemas de producción agropecuaria enfrentan una serie de retos para mejorar su eficiencia productiva, debido a la actual crisis socioeconómica y medioambiental del sector (Gutiérrez et al., 2008). Mucho se ha hablado sobre los problemas de producción actuales, que tienen su fundamento en modelos de producción vigentes; caracterizados por un uso intensivo de los recursos, que son legado de un pequeño porcentaje de la revolución verde, especialmente la agricultura química, que se ha encargado de hacer uso indiscriminado de sustancias tóxicas. Esto ha llevado a una revisión crítica de los fundamentos de este modelo donde el fin último de la producción es la consecución de resultados a corto plazo, en desmedro de la situación medioambiental y socioeconómica de los productores más pequeños (Otsuka y Muraoka, 2017). Un ejemplo claro de este fenómeno se puede observar en el control de plagas en los cultivos, mediado por el uso de los insecticidas; al inicio, el tratamiento de este tipo de problemas fue efectivo, sin embargo, el sucesivo uso de estos productos químicos produjo una selección de especies resistentes a estos productos; por consiguiente, se tuvo la necesidad de incrementar la cantidad de producto utilizada en el control para obtener los mismos resultados (Kurambaev et al., 2020).

Este tipo de problemas generó el desarrollo de nuevas metodologías para el análisis e interpretación de los sistemas de producción, diferente a las propues-

tas por el enfoque reduccionista. Este último se caracteriza por comprender la realidad a través del fraccionamiento de los elementos que integran los objetos analizados, lo que deja fuera del análisis las relaciones y sus interacciones que se pueden presentar en el sistema (Machado et al., 2009). Como respuesta a esta visión, a mediados de los años veinte surge una nueva corriente de pensamiento impulsada por Bertalanffy (1968), que busca nuevas formas de conocer la realidad, teniendo como base la visión holística. Esto llegó a complementar la visión reduccionista, incorporando las relaciones e interacciones en los análisis de sistemas productivos.

La visión reduccionista que ha traído excelentes beneficios para la humanidad, se vio puesta a prueba cuando algunos científicos tuvieron dificultad de interpretación de algunos fenómenos de la naturaleza, especialmente lo concerniente a la biología, donde se observó que, para comprender el funcionamiento de un organismo, no bastaba con entender las diferentes partes de su constitución y requería mantener una visión más amplia de los fenómenos estudiados (Machado et al., 2009).

A partir de lo anterior, el enfoque sistémico surge como herramienta para el análisis de sistemas que permite abordarlos de una manera más holística; entendida esta última como la capacidad de comprender el funcionamiento de todos sus elementos, relaciones e interacciones como un todo. La base, que sustenta el pensamiento con enfoque sistémico, se centra en la capacidad de reconocer una serie de conceptos universales aplicables a diversas áreas del conocimiento.

El vocabulario común generado por estos conceptos responde a una forma de aproximación a los problemas desde diversas áreas, siendo independiente de la disciplina en la cual sea considerado. Desde este punto de vista, el enfoque de sistemas debe observarse como una metodología que aúna esfuerzos para organizar el conocimiento, permitiendo mejorar la respuesta a problemas mucho más concretos (Rosnay, 1975).

El presente libro intenta una aproximación del enfoque sistémico, con aplicación al área agropecuaria, tratando de conocer los diversos conceptos que se aplican a los sistemas y ayudan en el conocimiento de las complejas relaciones que subyacen en las partes que los componen, mucho más cuando se realiza un acercamiento sobre los sistemas biológicos; dado que estos se caracterizan por un fuerte dinamismo que los mantiene en continuo cambio y la elevada influencia de un gran número de factores.

2. HISTORIA

La introducción al Enfoque Sistémico requiere el estudio de sus orígenes, su proceso evolutivo, en fin, conocer su historia. En este sentido, se resaltan nombres de suma importancia como: Bertalanffy (1958), Ashby (1991), Wiener (1948), Boulding (1956), Beer (1960), entre otros. A pesar de que el enfoque sistémico tiene auge después de la segunda guerra mundial, las bases de su origen se encuentran en los postulados de Ludwig Von Bertalanffy sobre la Teoría General de Sistemas (TGS) (Alfonso y Galindo, 2011). De esta manera es necesario profundizar en los acontecimientos que dieron lugar a la formulación de la TGS, ya que, a partir de esta, surge el Enfoque Sistémico (ES) como herramienta para el análisis de la realidad.

Las principales ideas de la TGS nacieron como contraposición al enfoque reduccionista de la ciencia y sientan sus bases a partir de la lógica de la guerra que se dio en la segunda guerra mundial. Durante los años finales al siglo XIX y principio del XX muchos de los investigadores comenzaron a observar los problemas del uso exclusivo del enfoque reduccionista; este fenómeno se observó de manera especial en la medicina y biología, donde científicos como Walter B. Cannon con el concepto de homeostasis (1929) y Bertalanffy con el estudio de los sistemas abiertos comenzaron a preguntarse por una nueva forma de entender los sistemas vivos, teniendo en cuenta sus interacciones, las cuales no se habían incluido hasta ese momento, o por lo menos de forma relevante (Osorio et al., 2008). El objetivo buscado por la nueva concepción era integrar las ciencias físicas y sociales a través de principios unificadores, planteando la existencia de leyes universales, que pueden ser aplicadas a todos los sistemas, sin importar su naturaleza empírica (Martínez y Londoño, 2012).

Ludwig Von Bertalanffy, conocido como el padre de la TGS, mencionó que Aristóteles postuló el argumento fundamental: “el todo es más que la suma de las partes” (Bertalanffy, 1979), los conceptos iniciales fueron mencionados por Bertalanffy en 1925, sin tener mayor acogida por los colegas de su tiempo. De esta manera, necesitó 20 años para ser tomada en cuenta, y solo después de la Segunda Guerra Mundial se consideró el concepto y se empezó la profundización en el área (Simon, 1969).

Bertalanffy cristalizó sus ideas de manera más formal en la **filosofía biológica**, que termina consolidándose con la creación de la Sociedad Interna-

cional para la Investigación General de Sistemas junto con Rapoport, Ashby, Boulding y Raschewsky. Dada la dificultad de conseguir los objetivos iniciales para la consolidación de la teoría general de sistemas, el nuevo enfoque empezó a acuñar una serie de conceptos que se podrían aplicar al análisis de cualquier sistema, surgiendo el enfoque sistémico como herramienta (Betancourt, Mertens y Parra, 2016).

Las corrientes de pensamiento que han influido en el desarrollo del enfoque sistémico, además de la filosofía biológica de Bertalanffy, son la cibernética propuesta por Wiener (1948) y Ashby (1945), la teoría de la información y de las comunicaciones de Shannon, Weaver y Cherry, la investigación operativa de William, la teoría de juegos de Neuman y Morgenstern.

La filosofía biológica propuesta por Bertalanffy (1959) centra su quehacer en 3 pilares fundamentales: la ontología de sistemas, la epistemología de sistemas y una filosofía de valores de los sistemas; la primera se aboca a la definición de un sistema y al entendimiento de cómo están plasmados en los distintos niveles del mundo de la observación, es decir, la ontología se preocupa de problemas tales como el distinguir un sistema real de un sistema conceptual. Para el segundo, Bertalanffy señala que

"[La realidad] es una interacción entre conocedor y conocido, dependiente de múltiples factores de naturaleza biológica, psicológica, cultural, lingüística, etc" (p.4).

De esta manera, la relación entre sujeto que conoce y objeto a conocer afecta la comprensión de lo conocido y se debe tener en cuenta al momento de interpretar los resultados del análisis. Finalmente, el tercero se preocupa de la relación del mundo con los seres humanos, la cual difiere en la forma como se entiende al mundo.

La cibernética introdujo el concepto de realimentación y su experimento más representativo fue el homeostato de Ashby (Venturelli, 2016). Este personaje afirmó que el aprendizaje en los animales sigue el mismo comportamiento del homeostato, el cual trabaja bajo premio y castigo. Más adelante se encontró que el concepto se podía aplicar a otras áreas como la homeostasis fisiológica, que finalmente dieron frutos abundantes en la naciente inteligencia artificial (Yoshida, 2017). Al concepto de homeostasis también se le denomina retroalimentación (o "*feedback*" en inglés). De esta manera, se determina que todos los elementos en una totalidad deben comunicarse, con lo cual se desarrollan interrelaciones coherentes. Cuando esta interrelación no existe, la totalidad no tiene orden y

2. HISTORIA

sin este último, no se puede hablar de totalidad; esta premisa rige a todos los sistemas, ya sean físicos, biológicos o sociales (Venturelli, 2016).

La teoría de la información y de las comunicaciones permitió el manejo de la información a través de un lenguaje matemático que ayudó en el desarrollo de problemas lingüísticos, matemáticos y teóricos en la transmisión de mensajes (Sherwin y Prat, 2019). La comunicación se puede definir como un “conjunto de elementos en interacción en donde toda modificación de uno de ellos afecta las relaciones entre los otros elementos” (Picard y Marcrd, 1992). Esta definición nos acerca al concepto de sistema, cuyo funcionamiento se sustenta a partir de la existencia de dos elementos: por un lado, la energía que lo mueve, los intercambios, las fuerzas, los móviles, las tensiones que le permiten existir como tal; y por el otro, la circulación de informaciones y significaciones, misma que permite el desarrollo, la regulación y el equilibrio del sistema. Lo anterior muestra que la comunicación se rige a través de ciertos principios: el de totalidad, causalidad circular y regulación (Rodríguez4 y Pinto, 2018).

Como se mencionó anteriormente, el auge del enfoque sistémico se da a partir de la segunda guerra mundial y la investigación de operaciones tiene gran importancia en su desarrollo. Esta herramienta hace uso de métodos matemáticos en el apoyo de procesos de toma de decisiones. Se formaliza en Inglaterra para apoyar el mejor uso del material bélico; su nombre posiblemente se deriva de Investigación de operaciones militares. En este contexto nombres como el de George Bernard Dantzing, reconocido como quien desarrollo el método Simplex y padre de la programación lineal, permitió disminuir los procesos de cálculos de operaciones de forma evidente (Jara y Villareal, 2021).

Luego de observar las corrientes que influyeron sobre el enfoque sistémico, la evolución de este, es dividida en tres etapas teniendo en cuenta a Rosnay (1977). La primera, ubicada en los años 40, con trabajos de Wiener (Cibernética) y Shannon (Teoría Matemática de la Información), que sientan los principios de regulación y control, principalmente en las máquinas, para luego extrapolarse a los organismos vivos. La segunda se presenta durante los años 50 y trata de conceptualizar las características de los seres vivos como la memoria, la adaptación, el reconocimiento de formas y el aprendizaje; esto permitió el inicio de su aplicación en máquinas, con el fin de simular el comportamiento de los seres vivos. La tercera etapa se presenta durante los años 60, donde los conceptos desarrollados en la anterior etapa, aumenta el rango de aplicación a entidades mucho más complejas como las empresas, las sociedades y la ecología. Desde

este momento, se comienza a hablar de un enfoque sistémico, aplicado a los sistemas que tienen relación con la actividad humana, pero a pesar de esta contribución, los aportes de la época fueron los más criticados debido a la forma como se plantearon y, por consiguiente, las conclusiones obtenidas.

3. CONCEPTOS BÁSICOS

Como su nombre indica, el enfoque de sistemas se fundamenta en el concepto de **sistemas** y este último es el concepto central de la Teoría General de Sistemas **TGS** (Peña y Velásquez, 2018), a partir de lo anterior, la **TGS** argumentar el siguiente postulado:

“cualquier hecho o fenómeno real se puede visualizar en su totalidad y es la forma como debe ser abordado, esto permite comprender la forma cómo interactúan los elementos del sistema y su grado de interdependencia” (Cisneros, 2009, p. 52).

La mayoría de los conceptos básicos de la **TGS** fundamentan el enfoque sistémico; nociones como: energía, flujos, realimentación, equilibrio, entropía, se utilizan en la comprensión de los sistemas, lo que demuestra que el enfoque de sistemas es una aplicación de la **TGS** (Farina y Zylbersztajn, 1997). Dicho lo anterior, lo que se busca es adaptar un vocabulario común a diferentes áreas del conocimiento, evitando el uso de un lenguaje excesivamente específico que cree barreras de comunicación entre las disciplinas. Con este nuevo vocabulario, los problemas pueden ser examinados de manera colectiva desde diferentes perspectivas (áreas) y no de manera individual, como se venía haciendo (Rosnay, 1975).

3.1 SISTEMA. A pesar de ser el eje conceptual del enfoque sistémico, su significado no se comprende de forma correcta. La palabra es aplicada en diferentes contextos sin comprender su alcance. Es común escuchar palabras y frases como sistema nervioso, sistemas de producción y sistemas electrónicos, entre otros, pero la conceptualización dista mucho de ser consolidada, que impide su aplicación de manera general, creando cierto grado de confusión en las personas que inician el aprendizaje del enfoque sistémico (Wadsworth, 1997).

Para tratar de entender el concepto, debemos navegar bajo varias definiciones. La primera corresponde a la Real Academia de la Lengua Española (RAE): “conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto”. La *International Society for the System Science* lo define como: “un conjunto de partes y sus interrelaciones”. Llegando a unas más extensas, como la mencionada por Mendieta (2012):

“Un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados, su composición se da a partir de diversos elementos y las relaciones que existen entre los mismos. Estos sistemas están igualmente compuestos de subsistemas o subconjuntos, los cuales igualmente están ligados a todos los otros subconjuntos del sistema. Puede decirse con ello que el sistema no sólo se compone a partir de las características de cada uno de sus componentes, sino también de las relaciones que se dan entre los mismos” (p. 203).

Por otra parte, algunos autores lo definen de la siguiente manera:

“un sistema es un todo unitario organizado, compuesto por dos o más partes, componentes o subsistemas interdependientes y definidos por límites, identificables de su ambiente o suprasistema” (Fremont y Rosenzweig, 1986, p. 259).

Como se puede ver en las definiciones, el sistema es un conjunto de partes coordinadas y en interacción, que tienen como fin alcanzar un objetivo. Esto permite dilucidar una gran cantidad de sistemas, como el ser humano, una unidad productiva, una unidad ganadera, un conjunto de estrellas, conjuntos sistemáticos de palabras, una célula, un grupo de trabajo (Bertóglío, 1993). Según García (2011) y Fernández (2010), un sistema es una representación de un recorte de esa realidad, conceptualizado como una totalidad organizada, en la cual los elementos no son “separables” y, por tanto, no pueden ser estudiados de forma aislada.

En las definiciones anteriores, el concepto de sistema está íntimamente unido a dos palabras básicas: **las partes y sus relaciones**, junto a estas, algunas definiciones incorporan la noción de **objetivo**; un sistema no puede ser catalogado como tal, si no presenta estos tres elementos.

Cuando nos referimos a partes, el concepto se aplica a objetos o sujetos, al igual que a una combinación de ellos (Van, 1987), aunque frecuentemente suelen ser físicos, como por ejemplo el músculo, un cerdo, una rosa o una persona, también pueden ser abstractos como variables matemáticas, ecuaciones y procesos. Ya sean físicos o abstractos se caracterizan por poseer una serie de atributos o propiedades que permiten definirlos o identificarlos (Bertóglío, 1993). Para un mejor entendimiento de lo anterior, se citan algunos ejemplos en la tabla 1.

3. CONCEPTOS BÁSICOS

Tabla 1. Atributos aplicados a objetos físicos y abstractos.

Objeto o Sujeto	Atributos
Músculo	Estriado o liso, flexible, desplazamiento, elevado consumo de energía.
Cerdo	Animal, mamífero, cuadrúpedo, con pezuña, cola corta.
Pasto kikuyo	Vegetal, gramínea, estolón.
Regresión lineal	Comparación, medición, inferencia.

Fuente: los autores.

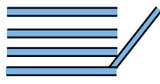
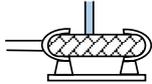
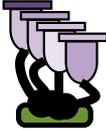
De lo anterior, se puede deducir que los objetos o sujetos que son **partes** del sistema pueden evaluarse como **subsistemas** (la noción de subsistema será explicada más adelante). De esta manera, las partes que constituyen los sistemas se pueden analizar de forma independiente como sistemas¹.

La segunda palabra básica es **relación**, que implica dependencia o efecto entre partes. Para entender mejor esta noción, se plantea como ejemplo un sistema de ordeño mecánico, que está compuesto de tanque recolector, pezoneras, tuberías, motor (genera vacío), manómetro, vaca y el hombre (figura 1). El sistema de ordeño no puede ser catalogado como tal, sino hasta que sus componentes se encuentren conectados, de forma que las partes se relacionen y realicen la función (objetivo) para la cual fue diseñado “recolectar leche”. Dentro de este aspecto, se debe considerar el factor humano, dado que es crucial para que los observado en el ejemplo tenga un pleno funcionamiento. De esta manera, cada parte puede constituirse en un componente del sistema.

Así, los sistemas se pueden definir como tal en el momento que se encuentran en funcionamiento. Para el caso del sistema de ordeño, este se observa cuando extrae la leche de la vaca (figura 2), si por alguna razón los componentes no funcionan o lo hacen de manera inadecuada, se corre el riesgo de perder el sistema, como una vaca con mastitis o un operario enfermo, lo que demuestra la importancia de la relación entre las partes en la obtención del objetivo (extraer la leche) y como se ven afectadas por el entorno y sus elementos.

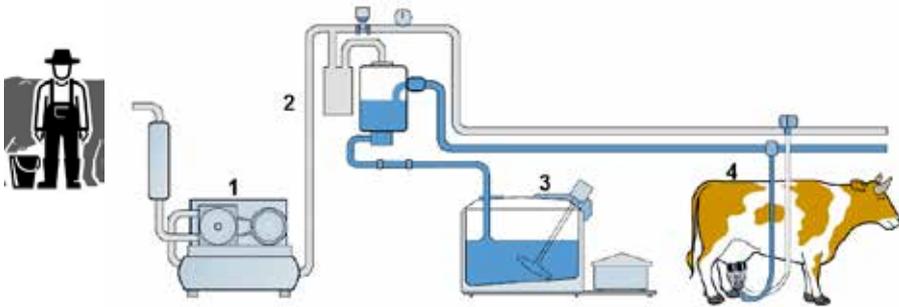
1 Se debe aclarar que, para el análisis de un sistema, muchas veces, se reconoce subsistemas, lo que constituye una forma de reduccionismo. Sin embargo, esta visión también es importante, dado que no se puede aprehender la realidad en su totalidad por lo que se debe fraccionarla sin perder de vista las diferentes relaciones que la componen.

Figura 1. Partes que componen un sistema de ordeño.

Tuberías		Bomba de vacío	
Tanque recolector		Vacuómetro	
Pezoneras		Vaca	
Hombre			

Fuente: los autores.

Figura 2. Sistema de ordeño ensamblado y la gestión del ser humano.



Fuente: los autores.

Luego de explicar las dos primeras palabras, es importante aproximarse a la idea de **objetivo**. Como se ha reiterado en el texto, los sistemas tienen un propósito o fin, que permite realizar un control de los procesos que intervienen. De esta manera, los sistemas se diseñan para alcanzar algo o realizar algún tipo de actividad. Aplicando el concepto al ejemplo del sistema de ordeño mecánico, el propósito u **objetivo** es recolectar la leche de la ubre de la vaca.

El objetivo es un factor clave para diferenciar al sistema de otros sistemas, y su permanencia en el tiempo sirve como marco de referencia de su correcto funcionamiento (Janssen et al., 2017). En este aspecto, se debe observar que,

3. CONCEPTOS BÁSICOS

para llegar al objetivo, el sistema de ordeño mecánico no es el único medio, dado que existe el ordeño manual, que es más antiguo en la obtención de leche, lo que demuestra la necesidad de diferenciar los diferentes sistemas.

Después de realizar un recorrido por los tres conceptos básicos que determinan un sistema, se puede formular una definición: **conjunto de partes que interactúan entre sí y con su entorno, que siempre tendrá un fin u objetivo que le permite diferenciarlo de otros sistemas.**

Luego de tener una definición de sistema, se requiere identificar el concepto de enfoque. Para ello, recurrimos a la definición de la Real Academia de la Lengua Española (RAE): “*la acción de enfocar*” (2021, p. 1), que hace alusión a “dirigir la atención o el interés hacia un asunto o problema desde unos supuestos previos, para tratar de resolverlo acertadamente”.

Durante los últimos años, el enfoque de sistemas brinda un proceso de aplicación sobre diversas áreas del conocimiento moderno y se incrementó su uso. Para comprender este fenómeno se tiene que iniciar por comprender el enfoque básico usado por la ciencia moderna para el desarrollo del conocimiento: **el reduccionismo.**

3.2 El reduccionismo revolucionó la forma de ver el mundo, su auge inició con la invención del microscopio durante el siglo XVII. Este rápidamente se transformó en una herramienta importante y novedosa para la ciencia de aquel entonces y como resultado se crearon nuevas disciplinas científicas (Gutiérrez, 2002). Esta herramienta permitió que los avances de la ciencia tengan un proceso más acelerado haciendo que el bagaje de conocimiento científico se incrementara de una manera nunca antes vista. Es así como, científicos de diversas áreas del conocimiento lograron comprender y explicar el funcionamiento de determinados fenómenos en la naturaleza. Para lograr esto, se necesitó que los científicos hicieran investigación sobre la base de estructuras, componentes y factores microscópicos, basando la metodología en un fraccionamiento de los objetos estudiados.

Esta nueva forma de estudio del entorno no solamente incrementó el conocimiento, sino que terminó modelando la manera como se investiga en la ciencia. Con el paso del tiempo, los microscopios construidos fueron más potentes, lo que permitió que los científicos pudieran observar de forma detenida las diversas partes del organismo, así como pequeñas partes dentro de estas. Con esto se formularon preguntas del mundo natural reduciendo la realidad en partes pequeñas y entendiendo las realidades complejas como agregados de éstas, conformando la idea del enfoque reduccionista.

Como se mencionó anteriormente, el enfoque reduccionista ha aportado al desarrollo de la ciencia. Durante los siglos anteriores e incluso en el presente el avance del conocimiento ha tenido un incremento sin precedentes generando innumerables beneficios para la humanidad y el mundo. Al contemplar algunas disciplinas del conocimiento como la microbiología y la virología se evidencia un gran éxito en su aplicación sobre varios campos del saber. Como resultado de este éxito, el enfoque reduccionista terminó generalizándose a todos los campos de investigación y llegó a disciplinas que, por su naturaleza no era suficiente para entender los fenómenos, como son los estudios de ecología y sociología, por lo que se ha criticado su enfoque y en algunos casos se ha demeritado sus logros, por lo que es necesario reivindicar su aporte y reconocer su vigencia para la ciencia actual (Jakobsen, 2015).

Esta forma de pensar y observar el mundo crea la especialización de las áreas del conocimiento que incluyen las referidas al sector agropecuario. Inclusive los especialistas en un área muy reducida del saber consideran como único enfoque al reduccionismo en el que aún se sumerge gran parte del conocimiento. Esta variabilidad de saberes hace que el lenguaje y forma de trabajo dificulten el dialogo entre especialistas del conocimiento con la consecuencia de la incomunicación entre especialidades que aporta al conocimiento general de la realidad.

Lo anterior, no significa que se debe dejar de lado al enfoque reduccionista como si este fuera obsoleto, dado que esta situación es inevitable y es complementaria al enfoque holístico. Al respecto, la gran cantidad de información que sale diariamente de las ciencias vuelve imposible a una persona acceder a toda esta información, evidenciando la necesidad de la transdisciplinariedad, que no es más que la unificación del conocimiento especializado hacia la comprensión de un fenómeno. Por ejemplo, en las ciencias agropecuarias un ingeniero agrónomo no tiene, de manera suficiente, todo el conocimiento de todas las producciones de cultivo que existen, por esta razón debe restringir su conocimiento a determinados cultivos e inclusive a determinadas actividades como puede ser el manejo de suelos. Sin embargo, dentro de las áreas del saber se necesita un grupo de personas con amplio conocimiento, que tengan la capacidad de unificar las diferentes especialidades en torno de un sistema particular para de esta manera contraponerse a los efectos generados por el reduccionismo de las disciplinas.

En el sector agropecuario el enfoque sistémico aún no tiene un desarrollo suficiente, es débil en muchos aspectos relacionados. El enfoque reduccionista ha tenido avances importantes en el área, pero de igual manera generó una

3. CONCEPTOS BÁSICOS

cantidad de problemas en el desarrollo de nuevos conocimientos y su aplicación a la vida práctica (Gaitán et al., 2019). Esto provocó un atraso del sector, por el escaso progreso técnico de las áreas del saber que se vinculan a los sistemas productivos, haciendo que los avances en la eficiencia productiva a nivel de finca sean muy reducidos. Junto a lo anterior, la mentalidad de nuestros productores aun no es suficiente para comprender estos cambios y pueden presentar una dificultad al momento de desarrollar estrategias de mejora.

El enfoque reduccionista, en muchos casos, basa la investigación agropecuaria en experimentos aislados, sin tener en cuenta el entorno del sistema y por consiguiente los factores externos que actúan sobre él. Los problemas se abordan desde el enfoque clásico y, por consiguiente, se tiene en cuenta las causas y sus efectos, sin observar los procesos de relación e interacción que se generan. Los sistemas agropecuarios en América Latina tienen características particulares que deben considerarse como lo social, tecnológico y financiero, entre otros. Estos factores influyen sobre el sistema a analizar y, por consiguiente, un análisis sin estas características puede generar resultados fuera del contexto real del sistema (Ruíz y Oregui, 2001).

Con el surgimiento de las mencionadas dificultades y el desarrollo (aunque incipiente) de una nueva metodología para el abordaje del conocimiento, las ciencias agropecuarias iniciaron un proceso de incorporación de los conceptos del enfoque sistémico dentro de su análisis dado que este les permitía identificar eventos o factores que no se podían tener en cuenta en el enfoque clásico y que permitían comprender los procesos que influyen dentro de los sistemas productivos (Taghizadeh, 2020). A partir de este análisis, se entendió por qué la investigación encaminada a mejorar los procesos productivos de los sistemas agropecuarios no generaba los resultados que los investigadores esperaban con el consecuente retraso que se observa en las técnicas actuales de producción.

3.3 Mecanicismo. Esta corriente solo aborda la explicación del funcionamiento de los fenómenos a través de la relación causa-efecto, su fundamento se encuentra en los postulados de Galileo (1610) y Newton (1687), que separa al objeto de su entorno, no permitiendo el análisis de las relaciones con el sistema y generando una especie de sistema cerrado del objeto en estudio (Ruíz y Oregui, 2001). Esto generó dificultades en la interpretación de fenómenos complejos, dado que estos no se comportan de forma lineal y sus interacciones son relevantes, por lo que pequeños cambios en una de sus partes puede traer

grandes cambios a nivel del sistema y con una gran dificultad para interpretar sus consecuencias.

Como contrapartida, a las nociones de reduccionismo y mecanicismo, el primero reduciendo el análisis hasta partes cada vez más pequeñas, y el segundo a causa-efecto, surge el **expansionismo**. A través del nombre se puede tener una idea de la forma de análisis que propone. Tiene un mayor énfasis en la comprensión del todo, disminuyendo la importancia en las partes, observadas de forma individual. Esto no quiere decir que, en ciertas condiciones, necesite investigar en forma detallada ciertos componentes del sistema con el fin de recopilar información que le permita conocer el funcionamiento de las partes y cómo influyen en el comportamiento del sistema en su totalidad.

Como se mencionó, el enfoque reduccionista impregnó todas las áreas del conocimiento y por consiguiente, se puede observar en la educación. En consecuencia, la mayoría de los conocimientos recibidos en la universidad y los procesos investigativos tienen como fundamento el enfoque reduccionista; como las asignaturas de biología, química, bioquímica, matemáticas, anatomía, fisiología, nutrición y microbiología, entre otras.

Por lo anterior, se busca que el profesional, profesor, persona interesada o estudiante universitario de las áreas agropecuarias tengan en cuenta en los procesos cotidianos, una visión panorámica de los problemas evaluados, en concordancia con la corriente expansionista, para entender los sistemas agropecuarios como sistemas compuestos por partes, que se encuentran íntimamente relacionadas, y que trabajan como una unidad indivisible (Wadsworth, 1997).

Luego de ver al reduccionismo y el mecanismo, sus ventajas y desventajas se puede trabajar en la concepción del enfoque sistémico como herramienta para la interpretación del conocimiento científico, especialmente el presente en las ciencias agropecuarias.

3.4 El Enfoque Sistémico (ES). Este enfoque surge de la TGS y se considera como una metodología que aborda, desde una perspectiva integradora, la complejidad de la realidad. Esto lo hace a través de la conceptualización de un lenguaje común para varias ciencias. Para ello, estudia las partes del sistema, sus interrelaciones relevantes, con un esquema integral. El ES puede ser aplicado en análisis parciales del sistema, con la identificación de subsistemas como partes integrantes.

De manera condensada, el **ES** es la aplicación de la TGS a casos prácticos, mientras que esta última trata de la conceptualización general de las áreas como

3. CONCEPTOS BÁSICOS

un solo sistema, que sustenta la base teórica de la corriente sistémica. El **ES** permite abordar una visión holística en procesos de interés, sin embargo, en muchas ocasiones se debe recurrir a procesos reduccionista (identificación de subsistemas), lo que demuestra la complementariedad de estas dos visiones del mundo.

Al introducir el concepto de **subsistema**, se manifiesta la necesidad de su definición porque puede tomarse como algo entendido. Sin embargo, un subsistema es una parte que puede comportarse como sistema dentro de un sistema mayor, está relacionado con el grado de complejidad al momento del análisis, ya que puede genera salidas que aportan a otros subsistemas o al sistema en general (Swanson et al., 2018). Al respecto, se puede argumentar que la vaca es un sistema que posee el rumen como subsistema, siendo indispensable para dar identidad al animal, aunque de ello surja algo paradójico, dado que el sistema ruminal se puede entender fuera del contexto de la vaca, pero esta última desaparece, si este no se identifica.

Para contextualizar la comprensión en el área, utilizaremos como ejemplo un sistema productivo de ganado de leche. En este se observa varias partes que lo conforman: los animales, los forrajes, la administración, pero al examinar de forma detallada se encuentra que pueden estudiarse como sistemas independientes². En este caso, el subsistema animal posee otras partes como el tipo de animales (vacas en producción, vacas secas, toro, novillas, terneras) y sus relaciones (el toro fecunda las vacas y se estas tienen crías, a la vez que producen leche³. El mismo análisis es posible realizarlo para las otras dos partes del sistema (forrajes y administración). Como se puede observar, para realizar un correcto análisis se debe recurrir al enfoque reduccionista, lo que demuestra que ambos enfoques se complementan.

De forma similar, se puede ahondar más en el ejemplo anterior y encontrar que el toro o cualquier otro animal puede ser un subsistema, ya que está com-

2 El reconocer los subsistemas permite aumentar el grado de conocimiento del sistema en evaluación; sin embargo, no se debe olvidar que pertenece a un sistema mucho mayor, y por consiguiente tendrá una relación con otros subsistemas o partes del sistema, las cuales no se podrán identificar si se analiza de forma separada. A este respecto, al desarrollar el análisis de los subsistemas traemos a este campo el reduccionismo como una herramienta para mejorar la comprensión del sistema.

3 Muchas personas podrían decir que existen otros objetivos en el sistema, ya que podría ser la consecución de crías para el reemplazo, pero si se observa de forma detenida la consecución de crías está encaminada de forma directa a la producción de leche, aunque este no se observe de forma aparente dentro del sistema.

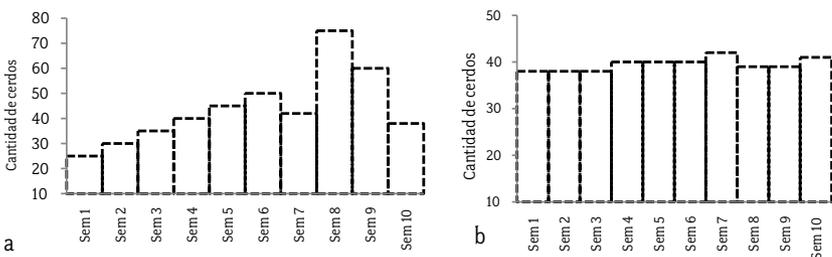
Enfoque sistémico de la producción pecuaria

puesto de partes (sistemas respiratorio, circulatorio, digestivo, etc) que están relacionadas. Por lo anterior, hay que tener en cuenta que el grado de complejidad y el tipo de estudio a realizar definen el nivel de profundidad y hasta qué punto es necesario comprender un subsistema para explicar la totalidad sin caer en un exagerado fraccionamiento.

Es importante que el analista de sistemas defina el objetivo real del sistema en observación, ya que una definición errada generará una mala comprensión del mismo. Una manera de identificar el objetivo es realizar una jerarquización de los componentes del sistema. En concordancia con lo anterior, los objetivos permiten introducir la idea de control del sistema, ya que son la referencia para continuar sus actividades en el tiempo (Erazo, 2015).

Para esto, se plantea otro ejemplo. Dos empresas productoras de cerdos tienen como objetivo la cría de cerdo y con ella la venta de 40 animales semanales. La producción de la primera empresa se observa en la figura 3a y la producción de la segunda, en la figura 3b. En la figura se aprecia que la primera (a) no tiene un control para lograr el objetivo de la producción, mientras que la segunda (b) sí. El control en la producción de la segunda permite mejorar la planificación del sistema y de esta manera evitar problemas cuando el mercado de cerdo fluctuó, dado que mantiene una producción constante. Sin embargo, la primera presentará problemas al momento de la fluctuación del mercado.

Figura 3. Variabilidad en la producción de cerdos semanales en dos empresas porcícolas.



Fuente: los autores. a: porcícola con alta variabilidad, b: porcícola con baja variabilidad.

En consecuencia, la definición precisa del objetivo permite mantener al sistema dentro de ciertos límites. Sin estos, pierde identidad fácilmente y por consiguiente se dificulta su mantenimiento.

3.4.1 Clasificación de sistemas. En el mundo real, los sistemas son conceptualizaciones del analista, esto hace que el abordaje se realice desde diferentes enfoques y variada complejidad, lo que genera la necesidad de una serie de clasificaciones, con el fin de afrontar de la mejor manera cada uno de los sistemas posibles sobre la base de las características particulares (De la Peña y Velázquez, 2018).

Entre las clasificaciones más importantes de los sistemas se encuentra la propuesta por Boulding (1956). Para ello tuvo en cuenta niveles jerárquicamente más complejos que les permitiera la generación de nuevas propiedades, a partir de esa lógica de pensamiento obtuvo un total de 9 niveles en la clasificación, los cuales se describen a continuación:

1. **Primer nivel.** El sistema se caracteriza por ser estáticos, poseen propiedades estructurales, que permiten una baja variabilidad en sus elementos y por consiguiente las relaciones son igualmente bajas. Dentro de su aplicación se encuentran los cristales, las rocas, el plano de una finca y una foto, entre otras.
2. **Segundo nivel.** Se caracterizan por contar con un componente dinámico (sistemas dinámicos simples). Este permite que se pueda incorporar en el nivel maquinas simples que se comporten de acuerdo con el modelo de física Newtoniana. Ejemplos de este nivel son el movimiento del reloj, el movimiento planetario, las palancas, la atracción entre dos cuerpos, entre otros.
3. **Tercer nivel.** Los sistemas cibernéticos o de control. En este nivel se pasa de una dinámica simple a una dinámica controlada, por consiguiente, este tipo de sistemas poseen la capacidad de auto regularse; esto permite que empiece el manejo de información dentro del sistema, puesto que tienen la capacidad de transmitir información al medio, tomar información de éste y procesarla. Esta dinámica en la información, le permite realizar ajustes en el funcionamiento del sistema, con el fin de mantenerse en un rango determinado. De esta manera, el punto de equilibrio del sistema no es estático, sino que oscila entre algunos límites, producto del procesamiento de la información que le ingresa. En este nivel, se puede observar algunos procesos vitales, especialmente de la parte fisiológica. Ejemplos de este nivel son los termostatos y la homeostasis en seres vivos.
4. **Cuarto nivel.** Los sistemas abiertos. En este nivel la dinámica del sistema con su medio es más fuerte. Se observa una diferenciación interna del

sistema con respecto de su medio; permitiendo autonomía con respecto de los cambios generados en su entorno. Las características principales que se manifiestan son de auto manutención y de auto reproducción. Un ejemplo de este nivel es la célula, que está en contacto con su medio, pero se diferencia de él, tiene la capacidad de procesar la información del medio externo y responde a los cambios, evitando que se modifique su funcionamiento interno, es así como responde a estímulos del alimento, la temperatura y del riesgo, entre otros. Este nivel puede ser considerado como el inicio de la diferenciación entre lo viviente y lo inerte.

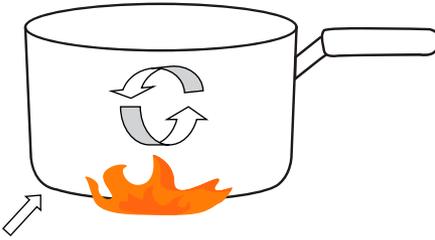
5. **Quinto nivel.** A este lo denominó genético social o de organismos inferiores. La característica más relevante de este tipo de sistemas es la división del trabajo, donde las partes son diferenciadas, pero actúan de forma interdependiente. A este nivel pertenecen las plantas, las cuales han especializado sus partes a órganos (flor, raíz, tallo, hoja). Cada uno tiene un trabajo específico, pero necesita del trabajo de los otros para mantener el sistema. En este nivel, los sentidos tienen un bajo grado de especialización y por consiguiente sus receptores tienen una baja capacidad de percibir la información.
6. **Sexto nivel.** Sistemas animales. En este nivel, el sistema da un salto significativo, ya que se observa un desarrollo en el sistema nervioso, concretamente el cerebro, que permite organizar la información y estructurar imágenes de su entorno. Para ello, los subsistemas de percepción evolucionaron con el fin de permitir una mayor y mejor captación de los estímulos externos. Las anteriores características permiten que se empiece a observar una nueva capacidad que es el aprendizaje, aunque sea de forma incipiente.
7. **Séptimo nivel.** Sistema humano, se observa al ser humano de manera individual, se resalta su capacidad de autoconciencia, de auto sensibilidad. En este nivel se tienen un desarrollo reflexivo, una de las características más notorias con el nivel anterior es la capacidad de hablar, de producir e interpretar símbolos complejos y de elaborar imágenes de tiempo.
8. **Octavo nivel.** Las estructuras sociales. En este nivel el hombre ya no se observa de forma individual, sino en relación con otros individuos, se crean imágenes simbólicas que afectan la conducta; la vida humana y la sociedad con toda la complejidad y riqueza (Bertoglio, 1993).

3. CONCEPTOS BÁSICOS

9. **Noveno nivel.** Los sistemas trascendentes. Lo absoluto, de alguna forma trata de responder a todas las preguntas, de forma completa.

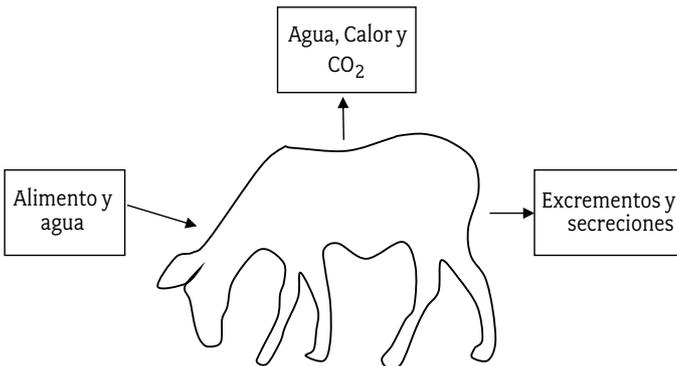
Por otra parte, Alba (1995) presenta una recopilación de las diferentes clasificaciones para un sistema. La primera tiene en cuenta su relación con el entorno: sistemas cerrados y sistemas abiertos (Figura 4 y 5), los primeros se caracterizan por no tener un intercambio de energía con su medio o poseen un intercambio mínimo, mientras los segundos si lo hacen; algunos sistemas abiertos son la célula, el ser humano, una ciudad, un perro, un televisor, mientras que sistemas cerrados pueden ser una roca o una olla a presión.

Figura 4. Sistemas cerrados.



Fuente: los autores.

Figura 5. Sistemas abiertos



Fuente: los autores.

Desde otro punto de vista, los sistemas pueden ser clasificados en concretos y abstractos; los primeros son sistemas que se pueden percibir por cualquiera de los sentidos, por consiguiente, son físicos o tangibles, mientras que los segundos

no se perciben, ya que pertenecen a sistemas conceptuales o simbólicos. Son sistemas concretos: un equipo de sonido, un edificio, un pájaro, una guitarra, un elefante, y como ejemplos de sistemas abstractos están el hexadecimal, el idioma español y la escritura jeroglífica, entre muchos otros.

Teniendo en cuenta su origen, también se puede clasificar a los sistemas como naturales y artificiales. Los primeros son parte de la naturaleza y son fruto de su dinámica, por consiguiente, se los encuentra en ella. Los segundos son construidos por el hombre, como producto de su actividad cotidiana. Los ríos y bosques son sistemas naturales, mientras que los trenes y los aviones son ejemplos de sistemas artificiales.

De acuerdo con las relaciones que sustentan sus partes, pueden ser clasificados en simples y complejos. Los primeros casi no tienen relación entre sus partes, ya sea porque no hay un dinamismo fuerte que las cree o tienen un limitado número de estas. Los segundos, se generan por tener un gran número de partes o una elevada dinámica que permite que su interacción se incremente.

Según el tiempo, se clasifican en estáticos y dinámicos. Los sistemas estáticos permanecen invariables en el tiempo (una estatua, un mineral y una montaña, entre otros), mientras que los sistemas dinámicos cambian (animales y corrientes marinas, entre otros).

Según el tipo de variables que definen el sistema, pueden clasificarse en discretos y continuos. Los primeros son definidos en términos de variables discretas⁴, que limita sus valores dentro de un rango de acuerdo con la naturaleza de los individuos o partes íntegras. En el caso de los sistemas continuos pueden tomar valores distintos a los que inicialmente lo conforman⁵.

3.4.2 Propiedades de los sistemas. En el análisis de los sistemas, el conocimiento de determinadas propiedades permitió el desarrollo de nuevas disciplinas que fortalecen la comprensión de los conceptos asociados con los sistemas. Al respecto, Ramírez (2002) plantea que los sistemas tienen las propiedades de: emergencia, sinergia, entropía, retroalimentación y homeostasis.

4 Una variable es discreta cuando toma solamente un número finito o infinito numerable de valores, es decir, su rango es finito o infinito numerable, ej: número de personas, días de la semana (Solarte, García y Figueroa, 2009).

5 Una variable es continua, si los valores que toma consisten en uno o más intervalos de la recta real, es decir su rango es infinito no numerable. Ej: el tamaño de truchas en la etapa de alevines, el peso de un ratón (Solarte, García y Figueroa, 2009).

3.4.2.1 Emergencia. Esta se genera por la sinergia existente entre los distintos componentes de un sistema, esta propiedad no puede ser observada cuando las partes se analizan de manera independiente, ya que son producto de la interacción al interior del sistema.

3.4.2.2 Sinergia. La palabra Sinergia viene del griego *syn* que significa con, y *ergos* que significa trabajo. De acuerdo con Corning (2014), los sistemas poseen sinergia cuando al analizar algunas de sus partes o incluso todas, de una forma aislada, no se puede explicar o predecir el comportamiento general de todo el sistema. La sinergia existe en un sistema cuando la suma de las partes es diferente del todo; es decir, cuando se estudian de manera aislada, no se puede explicar o predecir la conducta de la totalidad.

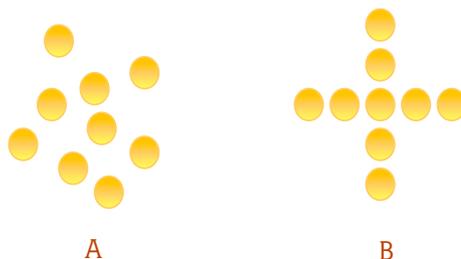
Por otra parte, Checkland (1993) menciona que el concepto tiene una fuerte relación con el nivel de complejidad presentado por el sistema, porque este tipo de propiedades son el resultado de aplicar restricciones sobre los elementos con nivel inferior, que genera una conexión con niveles superiores en la jerarquía del sistema.

La sinergia se debe a determinada organización y configuración de las partes del sistema, ya que su ubicación permite la relación particular entre ellas. Los sistemas que presentan sinergia se caracterizan por presentar una organización tal, que la ubicación y la estructura de sus partes tiene una importancia relevante para la obtención del objetivo final (Corning, 2014).

Lo anterior, puede ser explicado de mejor manera a través de un ejemplo tomado de Bertóglío (1993). Observe la figura 6, en el conjunto (A) se ve naranjas sin un orden específico más que su apariencia individual, mientras que en el segundo conjunto (B), la apariencia de las naranjas se acompaña de un arreglo espacial, que relaciona las partes, lo que crea una cruz. Lo anterior, permite concluir que en el conjunto B existe sinergia entre las naranjas, dado que la suma de sus partes está mostrando más de lo que individualmente aporta cada una.

De igual manera, se infiere que para llegar a este estado de organización se necesita de energía, ya que sólo con esta se puede modificar la posición de las naranjas. Lo anterior evidencia la necesidad de energía para contrarrestar la segunda ley de la termodinámica (entropía), que lleva a todo sistema a su estado más probable: el desorden.

Figura 6. Sinergia en un grupo de naranjas.



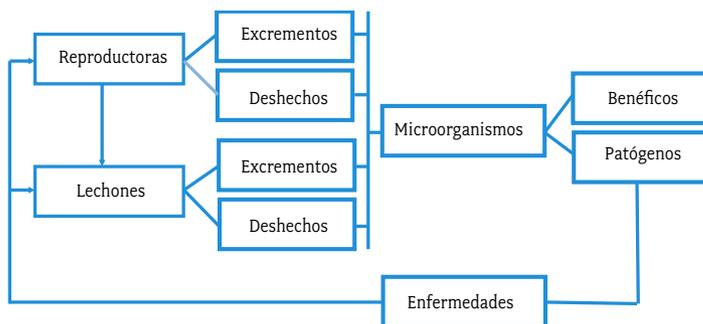
Fuente: Los autores.

Para contextualizar el concepto en el área pecuaria, partimos de un sistema de producción de cerdos, cuyo productor decide intensificar el sistema con el fin de mejorar sus ingresos mensuales. Para ello incrementa el número de cerdas reproductoras, manteniendo la misma área de instalaciones (figura 7). En este caso, si no efectúa un correcto análisis de los cambios, puede no conseguir los resultados esperados (mejorar los ingresos). Para comprender el fenómeno, se propone una secuencia de eventos por la decisión tomada por el productor y de esta manera, se muestra cómo las relaciones generadas dentro de un sistema pueden no terminar en los resultados proyectados.

- a. A mayor intensificación, se incrementa el número de animales por área.
- b. A mayor número de animales por área, se aumentan los desechos y los residuos producidos.
- c. Con el incremento de los residuos, hay un mayor número de microorganismos patógenos en el sistema.
- d. A mayor número de microorganismos, se incrementan los problemas sanitarios.
- e. Con problemas sanitarios, se aumenta el número de animales muertos o con baja productividad.
- f. En consecuencia, se tiene una reducción en los ingresos económicos mensuales⁶.

6 Se debe tener en cuenta, que nuevos elementos en el raciocinio pueden generar resultados diferentes, si incorporamos un excelente plan de manejo sanitario, los ingresos del productor pueden ser mejorados, evitando las consecuencias negativas de la intensificación.

Figura 7. Efecto sinérgico en un sistema de producción porcina.



Fuente: los autores.

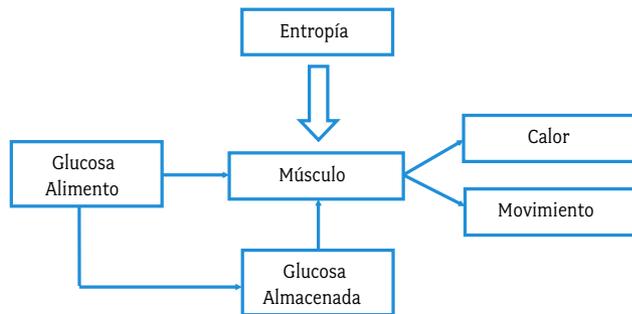
3.4.2.3 Entropía. La palabra entropía viene del griego *entropé* que significa transformación o vuelta. La entropía se basa en la segunda ley de la termodinámica, enunciada por el físico alemán Rudolf Clausius (1865), a través de la cual se establece que todo sistema tiene como máxima probabilidad el desorden (Cesari et al., 2018); de esta manera el sistema terminará homogeneizándose. El efecto de la entropía es más notable en sistemas cerrados y aislados, sin embargo, afecta de igual manera a los sistemas abiertos, pero en este caso los efectos son menos evidentes, ya que el intercambio con el medio le permiten revertir esta tendencia.

Desde el punto de vista del enfoque sistémico, la entropía funciona como un mecanismo de pérdida de estructura, con la consecuente desaparición de integración y comunicación entre las partes, llevando finalmente a la pérdida de identidad y muerte del sistema (Lesne, 2014). Es por ello que, en los sistemas agropecuarios, la labor del administrador es evitar que este fenómeno afecte la rentabilidad del propietario, y para ello, debe utilizar enmiendas en el sistema que contrarresten este efecto.

El concepto opuesto a entropía es la neguentropía propuesto por Schrödinger (1994), gracias a ella los sistemas dinámicos abiertos, mantienen la estructura del sistema en determinados periodos; sin embargo, la neguentropía necesita que el sistema incorpore de forma continua insumos necesarios para el desarrollo normal de los procesos, reduciendo el desgaste producido por la entropía (Ospina, Grajales y Manrique, 2011). Aquí se entiende el trabajo de los profesionales de la ciencia animal, hacer que el efecto de la entropía no afecte al sistema que manejan.

Ejemplo de ello se puede observar en los organismos animales, que tienen que realizar una serie de funciones en donde se utiliza la energía exterior, transformándola para su uso. Un caso concreto es el músculo (Figura 8); en este, la energía química es transformada a energía cinética (movimiento), la energía es obtenida de la glucosa reservada en músculo e hígado, pero toda la energía no es liberada en forma cinética, sino que parte se transforma en energía calórica, la cual se disipa en el ambiente (Kay, 2020). De esta manera, la energía almacenada en el organismo sufre un proceso de degeneración como producto de la entropía y el funcionamiento del sistema, por lo cual se requiere su recuperación a través del alimento (insumos del medio externo).

Figura 8. Efecto de la entropía.



Fuente: los autores.

3.4.2.4 Retroalimentación. Se conoce también con los nombres de retroacción, realimentación, re *input* o *feedback* (Ramírez, 2002). Esta característica le permite al sistema controlar los procesos mediante objetivos preestablecidos. La retroalimentación se realiza a través de la reincorporación al sistema, de sus salidas en forma de entradas. La información captada de la salida del sistema permite que el sistema haga las correcciones respectivas con el fin de mantener sus objetivos. Se puede decir que el sistema evita los efectos de la entropía, a través del control de la conducta de sus partes, y evita de esta manera la desintegración del sistema. Por esto, se genera una respuesta a la información adicional obtenida del medio circundante (De la Peña y Velázquez, 2018).

Un ejemplo práctico se presenta en el sistema fisiológico animal, donde la retroalimentación juega un papel muy importante. En aves, cuando la temperatura ambiente sube demasiado, el cerebro detecta este tipo de información (retroalimenta) y realiza correcciones para evitar la muerte del animal; para

3. CONCEPTOS BÁSICOS

ello, el animal envía la sangre proveniente de los órganos con mayor producción de calor (órganos internos) hacia las partes periféricas con el fin de eliminar el exceso; en el caso contrario la sangre es enviada a la zona interna y disminuye en los órganos periféricos con el fin de disminuir la pérdida de calor al máximo. De esta manera, el ave controla su temperatura corporal dentro de un estrecho rango (Tzschetke, 2007).

La retroalimentación muestra dos formas de comportamiento, la primera es positiva y la segunda negativa. El comportamiento adoptado por el sistema depende de la respuesta a los estímulos en las salidas.

Una retroalimentación positiva se presenta cuando el sistema reacciona favorablemente a estímulos recibidos de su medio externo, los cuales generan cambios en el sistema (Deangelis, Post y Travis, 2012). Este comportamiento le permite evolucionar, dado que es un amplificador de estos cambios. Sin embargo, el control de estos sistemas es prácticamente imposible, dado que los objetivos cambian de manera constante, por lo cual no se pueden crear parámetros de comparación que permitan mantener el sistema dentro de ciertos límites⁷.

La retroalimentación negativa es la forma como el sistema se mantiene en equilibrio, ya que al detectar cambios reacciona en contra de estos, generando acciones que disminuya su impacto y de esta manera el sistema regresa a su equilibrio inicial (Bertoglio, 1993). Una de sus características es reducir la variación en relación con los objetivos o estándares. Al respecto se puede verificar que muchos sistemas necesitan la retroalimentación como paso obligado para mantener en marcha el sistema en estudio.

El fin último de la retroalimentación consiste en analizar el comportamiento del sistema, dependiendo de la información que llega a través de sus salidas. Esta propiedad le permite comparar el funcionamiento real del sistema con parámetros ideales haciendo que el sistema regule o modifique las entradas para que las salidas se acerquen a los valores previamente definidos (Åström y Murray, 2010). De acuerdo con lo anterior, para el analista de sistemas, la retroalimentación es una herramienta que permite evaluar el cumplimiento de los objetivos y deter-

7 En esta parte se debe aclarar que muchos eventos en la naturaleza tienen el comportamiento mencionado (evolución). Sin embargo, en muchos casos este proceso es largo y lento, por consiguiente, no se observan de forma evidente. Cuando se realiza el análisis de este tipo de sistemas pueden ser abordados como sistemas en equilibrio, no incluyendo el proceso evolutivo que estos presentan.

minar aquellos eventos que redireccionan o direccionan el sistema, así este actor puede determinar los objetivos dentro del sistema y evaluar el cumplimiento de los mismos (Ramírez, 2002).

3.4.2.5 Homeostasis. El término proviene de las palabras griegas *homeos* que significa semejante y *statis* que significa situación. Esta propiedad permite mantener las variables o componentes del sistema dentro de un rango determinado, ayuda al sistema a adaptarse a cambios en el entorno, y generalmente es ayudado por la retroalimentación negativa que genera el autocontrol (Ramírez, 2002). El concepto tiene una mayor aplicación en los sistemas biológicos dado que presentan procesos de adaptación. Esto no significa que el sistema sea estático, sino que debe encontrarse dentro de ciertos límites, debido a la influencia de diferentes perturbaciones que surgen en forma aleatoria asegurando de esta manera su permanencia a través del tiempo (Graf, 2004). A pesar de la dinámica en los procesos esta propiedad le permite continuar ejerciendo sus funciones. En este sentido, existen algunas definiciones que pueden ser de ayuda al momento de realizar un análisis sistémico como: el estado del sistema, el estado del entorno del sistema, el evento del sistema y el comportamiento del sistema

- **Estado del Sistema.** Determina el estado en que se encuentra un sistema en un tiempo determinado. Durante este lapso, el sistema presenta una serie de propiedades relevantes que pueden ser diferenciadas de otros momentos. Como ejemplo está la sístole y diástole en el corazón que tienen características diferentes. Se debe igualmente aclarar que, el tipo de sistema en evaluación permite o no la predicción de este tipo de estados. Dependiendo del tipo de sistema (ligado igualmente al nivel jerárquico en el que se ubique) dicho estado será más o menos predecible, y en muchos casos altamente impredecible.
- **Estado del Entorno del Sistema.** Al igual que el caso anterior, este representa todas aquellas propiedades de interés que se dan en un momento determinado, hay que aclarar que el estado puede ser definido por el analista y por consiguiente puede ser objetivo o subjetivo, dado que el observador identifica y determina aquellos que son de interés para el análisis, se diferencia del anterior porque no se aplica al sistema en sí, sino a su entorno.
- **Evento del Sistema.** Este concepto se refiere a cambios de una o varias propiedades del sistema que se mide en el tiempo (con una duración

3. CONCEPTOS BÁSICOS

determinada) y el momento de ocurrencia del evento definen si existe o no un cambio.

- **Comportamiento del sistema.** Se lo puede definir como el paso de sucesivos eventos en un lapso de tiempo, los cuales tienen interés particular por los cambios que producen en el sistema. Esto supone identificar los cambios del sistema que se dan sobre sí mismo, que pueden afectar su estructura, las relaciones y los procesos.

3.5. Elementos y Componentes de un Sistema

3.5.1 Componentes. Pueden ser definidos como una cosa o porción que integra un todo. También pueden ser interpretados como una parte u órgano, dependiendo del sistema que se encuentre en evaluación, ejemplo: los sistemas vivos.

Cuando se habla de componentes, se identifican algunos rasgos:

- Las características particulares que presentan pueden expresarse o influenciar al sistema. De igual manera, estos son afectados por el sistema mismo. El grado de influencia estará supeditado a la relación existente entre las partes.
- El analista fija el grado de detalle y los componentes que desea considerar al momento de realizar el análisis del sistema. Por ejemplo, en un sistema de producción de leche un posible interés se encuentra en uno de sus componentes; la vaca. Dado el tipo de sistema es de interés la constitución de la glándula mamaria, con mayor importancia que la conformación muscular que tendría trascendencia para un productor de carne.
- Algunos componentes pueden ser considerados como un sistema completo, que se abordaría como subsistema dentro del análisis, ejemplo de ello puede ser una planta y cada una de sus partes: hoja, flor, tallo y raíz (Ramírez, 2002).

Cuando se realiza un análisis de sistemas se identifican algunos componentes básicos, los cuales son mencionados a continuación:

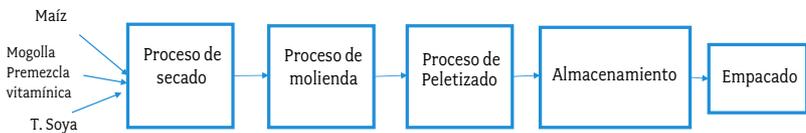
- **Estructura:** describe las interrelaciones y los procesos que hacen parte del sistema.
- **Ambiente:** ubica al sistema dentro de un entorno, observando su relación con este.

- **Entradas:** pueden ser fuentes de energía, recursos, insumos o información que el sistema incorpora, con el fin de mantener su funcionamiento; proceden del medio externo.
- **Salidas:** son el resultado de los procesos del sistema, construidos mediante su estructura y que pueden salir del sistema o incorporarse a él, para realizar o fortalecer otros procesos.

Teniendo en cuenta el componente estructural, se identifica varios tipos de relaciones dentro de los procesos realizados en el sistema: estructura en serie, estructura paralela y estructura realimentada.

3.5.1.2 Estructura en serie. Como su nombre lo dice, cada etapa del proceso se encuentra relacionada con la siguiente en forma lineal. De esta manera, la salida generada por un elemento (también puede ser un subsistema) se convierte en la entrada de otro y así continúa hasta entregar una salida del sistema hacia el medio. A continuación, se presenta un ejemplo de este proceso (figura 9). En una empresa que fabrica alimento balanceado para equinos, parte de unos insumos y termina en un producto final (alimento balanceado).

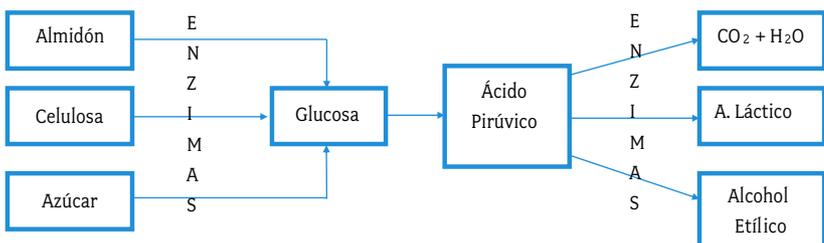
Figura 9. Estructura en serie.



Fuente: los autores.

3.5.1.3 Estructura paralela. En este tipo de estructura, los elementos llegan al sistema de forma simultánea con las entradas (Figura 10).

Figura 10. Estructura paralela.



Fuente: los autores.

3.5.1.4 Estructura realimentada. Este tipo de estructura se adecúa a sistemas que presentan retroalimentación, por consiguiente, el total de las salidas o parte de ellas ingresan como entrada al sistema, sirviendo de retroalimentación del sistema (Chen, 2005).

3.5.2 Elemento. De acuerdo con Bertoglio (1993) se puede definir como características del sistema y para el caso, las principales son: corriente de entrada (insumos), procesos de conversión, corrientes de salida (producto) y retroalimentación como elemento de control.

- *Corriente de entrada:* los sistemas deben incorporar ciertos insumos para funcionar, a esto suele llamarse entradas o inputs. Estas son incorporadas al sistema para procesarlas y transformarlas en salidas u outputs (Wadsworth, 1997). Cuando el análisis se realiza sobre un subsistema las entradas pueden considerarse como relaciones externas. La corriente de entrada puede ser interpretada como energía que fluye desde el exterior hacia la parte interna del sistema. Esta se comporta de acuerdo con la ley de la conservación, donde la cantidad de energía que permanece en el sistema es igual a la energía importada, menos la exportada. Como ejemplo, las plantas toman energía solar del medio para su funcionamiento, la utilizan para su normal desarrollo y generan una serie de productos en los cuales eliminan cierta cantidad de energía que debe ser nuevamente recuperada a través de la energía solar. Sin embargo, Bertoglio (1993) indica que existe un tipo de entrada que no responde a esta ley, refiriéndose a la *información*, ya que ésta se comporta de acuerdo con la ley del incremento; por ejemplo, en la entrega de paquetes tecnológicos a los agricultores de una región en particular, el técnico transmite su conocimiento (energía) a un grupo de campesinos, durante el proceso la información del técnico permanece a pesar de salir del sistema, incluso puede que la salida del sistema esté generando mayor información dado que la experiencia de los campesinos pueden aumentar la cantidad de información que el técnico posee recordando que la mejor forma de aprender es enseñar.
- *Procesos de conversión:* cuando se analiza un sistema se evidencia que está compuesto por componentes que pueden ser analizados en forma independiente como subsistemas, cada uno de ellos presentan procesos que transforman las entradas que tomó el sistema de su medio externo y generan una serie de productos que son utilizados nuevamente como entradas para

desarrollar la actividad o el objetivo fundamental del sistema. Un ejemplo de esto es un sistema animal (caballo, para este caso); el cual está formado por los subsistemas, circulatorio, digestivo, nervioso, muscular y respiratorio⁸; cuando consume alimento, el primer subsistema en transformarlo es el digestivo, a través de la masticación, entregando al siguiente eslabón, alimento triturado, que a su vez, mediante procesos mecánicos y bioquímicos entrega como productos, proteínas, carbohidratos y lípidos que pueden ser usados por otros subsistemas para su funcionamiento. Teniendo en cuenta esto, existen diferentes procesos de conversión dentro de un sistema que van a favor de la consecución del objetivo planteado, siendo unos principales y otros de servicios, sin ser menos importantes.

- *Corrientes de salida:* también denominados productos o salidas, como su nombre lo indica es el resultado de todo el proceso realizado en el sistema, el cual transforma las entradas y está definido por el objetivo propuesto. Este flujo de salida permite exportar los resultados de las operaciones del sistema hacia el medio. Existen casos en los cuales se observa una salida que no se contempló en el primer momento, estos imprevistos ayudan a identificar cambios en el sistema que no fueron considerados inicialmente y que pueden afectarlo. Como ejemplo de corrientes de salida están las plantas que luego de realizar el proceso de fotosíntesis entregan, entre sus productos, oxígeno al medio externo. Generalmente, existen varias corrientes de salida que pueden ser clasificadas como positivas y negativas, dependiendo del impacto que generan sobre su medio y la escala de valores de quién realiza el análisis, entendiendo el medio como otros subsistemas, sistemas o suprasistemas que las utilizan como entradas. Estas salidas pueden ser clasificadas en tres categorías: salidas principales (objetivo), salida de subproductos y residuos; estos últimos se generan como productos necesarios para la obtención del producto principal y no pueden ser eliminados del sistema porque hacen parte de la condición normal de su funcionamiento.
- *Retroalimentación:* tal como fue descrito, permite el control y la regulación de los objetivos del sistema.

Finalmente, los conceptos de corriente de entrada y salida determinan dos características para los sistemas: independencia y diferenciación de los demás

8 Los subsistemas mencionados, no agotan de ninguna manera la totalidad de subsistemas que pueden presentarse

3. CONCEPTOS BÁSICOS

sistemas. Si para el análisis únicamente se tiene en cuenta estos dos elementos, se considera el denominado análisis de caja negra, este enfoque permite un conocimiento general del sistema donde los procesos internos no son tenidos en cuenta o simplemente no son necesarios para entenderlo. Sin embargo, algunas veces no se comprenden ciertas salidas del sistema ya sea por un mal conocimiento del mismo o su mal funcionamiento, para ello el analista debe destapar la caja negra y observar el proceso interno a través de sus interacciones y los elementos que lo constituyen.

Wadsworth (1997) citando a Spedding sugiere 9 consideraciones que pueden ser observadas en un sistema que permiten conceptualizar el sistema para su análisis:

- a) El propósito.
- b) El límite
- c) El contorno.
- d) Los componentes.
- e) Las interacciones.
- f) Los recursos.
- g) Los ingresos o insumos.
- h) Los egresos o salidas.
- i) Los subproductos.

a) El propósito. Puede ser conocido como la finalidad, los logros, el objetivo y la misión (Rowntree et al., 2020). Permite identificar el enfoque que toma el análisis reduciendo una infinidad de sistemas aplicables al sistema analizado y define los egresos principales. No se puede analizar un sistema si no se conoce su propósito, ya que sus elementos interactúan para conseguir una meta, un estado final o algún punto de equilibrio. Estos propósitos u objetivos del sistema deben ser cuantificables. También se debe tener en cuenta que el propósito se encuentra restringido a las condiciones donde debe operar el sistema (ambiente).

Como se mencionó, la definición del propósito (objetivo) determina el enfoque y la aplicación de los procesos a plantear, mostrando la manera precisa como alcanzar el propósito, cohesionando los aspectos relacionados con el sistema (Ramírez, 2002).

El propósito puede cambiar con el tiempo, especialmente en sistemas dinámicos esto permite medir el comportamiento del sistema y determinar su evolución. Por otra parte, Latorre (1996) propone definir indicadores que permitan evaluar el cumplimiento del propósito, estos pueden ser metas que muestren el

impacto de las acciones que se realizan en procura de alcanzar el objetivo propuesto, al igual que determinar el tiempo necesario para alcanzarlo.

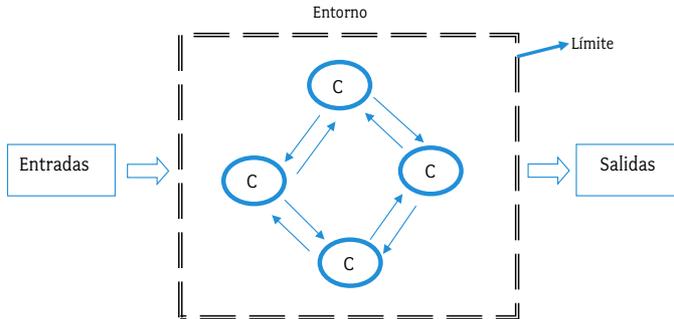
Por ejemplo, en una granja porcícola uno de los propósitos principales es entregar al consumidor carne de cerdo. Como puede deducir su producto final es la carne de cerdo y no otro tipo de carnes, como la de pollo o ganado bovino, esto hace que sea diferenciable de otras producciones y permite cuantificar la eficiencia del proceso de transformación dado que existen para esto indicadores establecidos que permiten ubicar al sistema en relación con otras producciones. Igualmente, es posible identificar los cambios que se producen durante el tiempo, como cambios en las preferencias del consumidor por determinados cortes de carne (cerdos más magros, en vez de animales más grasos).

b) El límite. Permite determinar qué componentes se encuentran dentro del sistema, mostrando la extensión del objeto de análisis. El límite facilita igualmente, insertarlo en un determinado ambiente y jerarquizarlo al momento de comparar sus relaciones en torno a otros sistemas (suprasistema, sistema y subsistema), delimitando el campo de estudio (Grün y Botero-Bernal, 2008). Su identificación depende mucho del analista, quién es el encargado de delimitar el sistema a analizar, esto trae como consecuencia un límite relativo existiendo la posibilidad de que el sistema pueda ser limitado de forma arbitraria (figura 11). Visto de forma física puede definirse como la línea que separa al sistema de su entorno, siendo esta visible o imaginaria. Como ejemplo, en el caso de un bovino si el interés es estudiar su fisiología, el límite será el animal, pero si interesa el animal como productor de leche, el límite debe ser ampliado y tener en cuenta la cantidad de tierra disponible y el tipo de alimento. En consecuencia, el aumento del límite conlleva a la necesidad de incluir nuevos componentes o elementos dentro del análisis, haciendo más compleja la interpretación de las relaciones entre sus partes.

c) El contorno. Se define como todo aquello que se encuentra fuera del sistema objeto de estudio (Graf, 2004) y considera componentes o elementos externos al sistema que pueden afectarlo de forma importante. Muchos no pueden ser controlables por el sistema, aunque si pueden ser afectados en menor grado, existiendo una alta interdependencia que se observa a través de la retroalimentación. El contorno es una fuente de recursos y amenazas para el sistema, algunos lo denominan contexto o ambiente que condiciona y determina el funcionamiento del sistema. Otra característica importante consiste en que

3. CONCEPTOS BÁSICOS

Figura 11. Límite de un sistema.



Fuente: los autores.

el sistema no puede igualarse con su contorno, ya que perdería por completo su identidad. Esto hace que la relación de interdependencia se encuentre supeditada a que el primero tome, de forma selectiva del segundo, determinados elementos conllevando a una especialización del sistema con respecto de su contorno haciendo que su capacidad de adaptarse, cambiar y responder a las demandas del medio ambiente se vea disminuida e incida en la aparición o desaparición de los sistemas (Ruíz y Oregui, 2001).

Como ejemplo, una planta de fríjol, la cual puede estar en diferentes contornos, una parcela campesina, un invernadero o una zona silvestre, cada uno de estos ambientes determinará las variables que influirán en el crecimiento de la planta. Dado que en el caso del invernadero la planta tiene las condiciones ambientales óptimas, tendrá menos problemas para desarrollarse y generar una buena producción, mientras que, en el caso de la parcela, ciertos elementos del entorno, que no son controlables por el campesino pueden afectar el sistema fríjol; entre estos está la precipitación del lugar, la zona geográfica y el tipo de suelo, entre otros. Finalmente, la planta silvestre estará expuesta a todo tipo de cambio del entorno, dado que no existe control de las variables sobre la planta, haciendo que la producción del fríjol esté sujeta al cambiante ambiente.

d) Los componentes. Este concepto ya fue descrito, su importancia radica en hacer parte de la esencia del sistema objeto de análisis.

e) Las interacciones. Están determinadas por el tipo de relación existente entre los componentes del sistema que establecen la forma cómo funcionan. El grado de relaciones existentes entre los componentes determina su compleji-

dad. El conocimiento de las relaciones entre componentes permite al analista hacer predicciones del sistema y realizar cambios que beneficien u optimicen el propósito planteado. Junto al concepto de relaciones, surge el concepto de estructura que genera diferentes tipos de relación entre los componentes, de acuerdo con el sistema, así (Ramírez, 2002):

- *Lineal*: la relación que pueden presentar es del tipo de cadena, ya que cada componente se encuentra uno detrás de otro.
- *Circular*: presenta características parecidas al anterior, componentes uno detrás de otro, con la diferencia que en este no se observa principio ni fin.
- *Centralizada*: como su nombre lo indica los componentes del sistema se concentran relacionados únicamente por un componente central sobre el cual confluyen los demás.
- *Matricial*: en esta estructura los componentes se disponen en filas y columnas, dando la idea de la unión de varias estructuras lineales.
- *Jerárquica*: la estructura está escalonada en niveles de control de manera que existe un elemento sobre el cual confluyen, como componente que gobierna a los demás, existiendo un grado de subordinación entre componentes.
- *En red*: no existen componentes subordinados ni centrales o secuenciales en el sistema.

f) Los recursos. Este tipo de elementos se incorporan al sistema para ayudar en el proceso interno, tienen la característica de ingresar al sistema y no ser modificados en el proceso, a diferencia de los insumos, que se transforman. Sin embargo, un insumo o ingreso puede convertirse en un recurso, dependiendo del momento en que son analizados.

g) Los ingresos o insumos. El concepto fue incorporado en la definición de las corrientes de entrada, por lo cual no se amplía en el presente ítem.

h) Los egresos o salidas. Son el resultado del proceso interno del sistema y definen, en la mayoría de los casos, el propósito del mismo.

i) Los subproductos. Es un producto que se genera en el sistema y que se incorpora nuevamente para suplir algunos ingresos que se requieren, generalmente están fuera de los objetivos propuestos, pero van de forma indisoluble con estos.

4. LA EMPRESA AGROPECUARIA COMO SISTEMA

Desde hace algunos años, se incorporó a los sistemas de producción el enfoque de sistemas, para abordar los problemas agropecuarios desde diferentes disciplinas; con base en una metodología integradora, donde la observación y el análisis de los componentes en forma aislada, no son suficientes para entender las complejas relaciones que presentan los sistemas agropecuarios (Wadsworth, 1997).

Visto desde una perspectiva productiva, el análisis de sistemas agropecuarios busca integrar todos los factores técnicos de relevancia, para determinar las interacciones presentes, que permitan predecir la respuesta productiva del sistema en determinadas condiciones. El enfoque de sistemas busca identificar y describir el sistema para comprenderlo y a partir de ahí, ajustarlo o mejorarlo. Esta identificación responde a una jerarquía sobre la cual se definirá el sistema (Wadsworth, 1997). Dado que muchos de los sistemas productivos en nuestro contexto, tienen características agropecuarias familiares, donde la propiedad de la tierra y el capital invertido son bajos, el análisis supone incorporar diversos aspectos sociales y estructurales, a pesar de no tener una relación estrecha con el proceso en sí mismo (Alexandre et al., 2021). Comprender los sistemas agropecuarios, requiere conocer la fuerza de trabajo sobre el capital y los recursos naturales disponibles, a través de la administración, con el fin de llegar a objetivos predeterminados y ubicarlo en el contexto referido a su situación social y estructural.

Como los sistemas agropecuarios se encuentran influenciados por el entorno, este tipo de sistemas deben ser catalogados como sistemas abiertos, porque en ellos el productor debe gestionar sus recursos, con el fin de conseguir un determinado objetivo. Dado que existen oportunidades y limitaciones, se debe realizar una serie de prácticas productivas para el funcionamiento del sistema (Ruíz y Oregui, 2001).

4.1 Conceptualización. La actividad agrícola y ganadera consiste en el abastecimiento y gestión de recursos, factores y medios de producción, para obtener una serie de productos destinados directa o indirectamente al consumo humano,

mediante distintas técnicas o métodos de producción y un proceso de transformación biológica (FAO, 2020), al igual que algunos servicios; particularmente los ambientales.

De acuerdo con Ruiz y Oregui (2001), los sistemas pecuarios pueden ser clasificados como sistemas abiertos, gestionados por un agricultor, que persigue una finalidad en la producción. Por consiguiente, este tipo de sistemas se afectan por diferentes factores: biofísicos, ecológicos, políticos, sociológicos y económicos. Al ser factores dinámicos y artificiales, tienden a equilibrios inestables sobre los componentes que hacen parte el sistema. Esto, hace que el comportamiento no se pueda determinar en términos mecánicos ni mediante respuestas lineales. Lo anterior, no significa que pierda su identidad, sino que dentro de sus propiedades se encuentren características cambiantes y de evolución, que están supeditadas a la disponibilidad de trabajo y superficie.

Por otra parte, Apollin y Eberhart (1999), citando a Dufumier (1918), definen el sistema de producción como:

“el conjunto estructurado de actividades agrícolas, pecuarias y no agropecuarias, establecido por un productor y su familia para garantizar la reproducción de un sistema; resultado de la combinación de los medios de producción (tierra y capital) y de la fuerza de trabajo disponibles en un entorno socioeconómico y ecológico determinado” (p. 396).

Sobre la base de las definiciones anteriores, el analista de sistemas agropecuarios, para investigar este tipo de sistemas, debe tener en cuenta la delimitación física del sistema, su ubicación geográfica, seguido por el tipo de producción que se analiza; ya que puede presentar varios componentes, como diferentes cultivos, tipos de animales o una mezcla de ambos⁹. El análisis de todos los sistemas debe empezar por una descripción detallada del mismo que permita identificar todos aquellos factores, partes, relaciones e interacciones que el sistema pueda presentar (Molina, 2005).

Como los sistemas agropecuarios se encuentran insertos en un entorno particular, interactúan a diversos niveles y esto genera una diversidad de procesos tecnológicos que deben incorporarse y que definen características particulares de los mismos. Estos procesos tecnológicos determinan, en cierto grado, el nivel de eficiencia de los sistemas productivos. Como analista se debe tipificar y

9

Generalmente este último es el de mayor preponderancia en los sistemas productivos de nuestra región.

4. LA EMPRESA AGROPECUARIA COMO SISTEMA

analizar los sistemas bajo una estructura de clasificación, teniendo en cuenta la descomposición de los procesos productivos, considerando los sucesos biológicos, sociales, económicos y culturales¹⁰, que ejercen un control sobre procesos parciales del sistema productivo. Luego de lograr esta identificación, se toma cada uno de estos sucesos en forma separada para determinar las características de importancia que influirán de forma significativa de acuerdo con el interés particular del análisis. Esto, permitirá identificar insumos en cada suceso o proceso y los parámetros para evaluar el desempeño de cada una de las partes (Molina, 2005).

Los sistemas agropecuarios, se caracterizan por constar de un conjunto de múltiples variables, diversidad de componentes y operar bajo diversas condiciones a través del tiempo. Para ello, la metodología comienza con la caracterización del mismo, basado en la información obtenida; este paso requiere el manejo de una gran cantidad de información, una forma de codificación y su organización posterior. De esta forma, el analista conoce, entiende y analiza el sistema, incluso lo diagnostica con referencia a una problemática evidenciada (Peterson et al., 2020).

Ahora bien, es fundamental la conceptualización de los sistemas agropecuarios utilizando las definiciones precedentes en este documento. Se inicia con un método reduccionista, por ser una forma de análisis reconocida y difundida, observando los subsistemas para paulatinamente ir aumentando la visión holística en un sistema más complejo (Wadsworth, 1997). Determinar los subsistemas es básico en el análisis de sistemas agropecuarios, dado que estos presentan un elevado grado de complejidad. De esta manera, el sistema puede ser analizado en partes manejables y más fáciles de entender. Otra de las ventajas de analizar los subsistemas, radica en determinar cuáles de estos presentan problemas graves y urgentes, con el fin de hacer modificaciones que maximicen su funcionamiento.

Si abordamos como ejemplo una producción de cuyes¹¹, lo primero que se realiza es una descripción general del entorno para luego identificar los elementos, componentes y sus relaciones e interacciones. La producción de cuyes cuenta con un área de 8 hectáreas establecidas de pasto Brasileiro (*Phalaris arundinacea*) y una hectárea de alfalfa (*Medicago sativa*) para la alimentación base (forraje) de los animales que se complementa con un balanceado comercial

10 Los sucesos presentados se encuentran íntimamente relacionados.

11 Para el ejemplo, tenemos que este es el sistema a analizar, aunque como se mencionó empezaremos con el análisis de sus componentes como subsistemas del mismo.

(18% de proteína y 3000 kcal ED/kg MS) en cantidades de 40 g/animal/días de alimento balanceado comercial en etapa adulta y 20 g/animal/día¹². Además, cuenta con un galpón de recría y ceba con capacidad para 4800 animales, un galpón de reproducción para 2400 hembras; en el cual las hembras se distribuyen en proporción de 6 hembras/macho.

Luego de esta descripción somera, se inicia el análisis a través del estudio de los subsistemas que se identifican, sustentados en los conceptos propuestos por varios autores (Wadsworth, 1997; Ruíz y Oregui, 2001) que clasifican el sistema productivo en los siguientes subsistemas básicos: subsistema biológico, subsistema social y cultural, subsistema operacional y administrativo, y el subsistema financiero.

Dentro del subsistema biológico, se tiene los siguientes componentes: cuyes reproductores, destetos, recría y ceba, y alimentación (forraje de pasto y arbustiva, alimento balanceado), entre los de mayor relevancia para el análisis. De estos componentes, se describe como subsistema el componente cuy (figura 12) y se realiza el análisis sistémico, teniendo en cuenta la conceptualización mostrada por Spedding (Wadsworth, 1997).

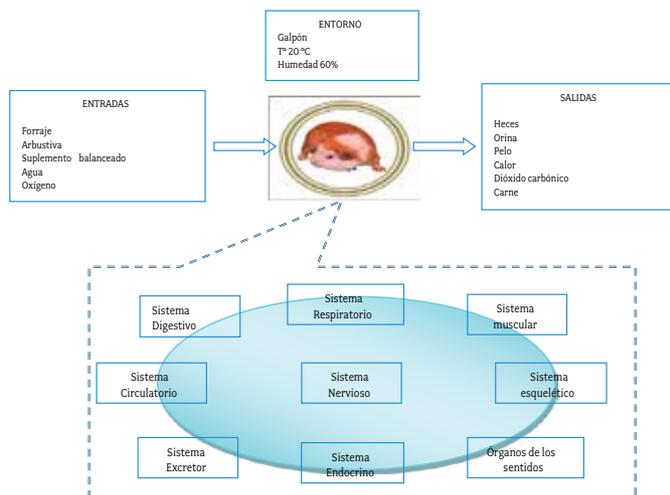
Se requiere iniciar determinando el objetivo o *propósito* del sistema, que para el caso es la producción rentable de carne para consumo humano. El límite está constituido por el pelaje (piel y pelo) del animal y, por lo tanto, se identifican las partes al interior del sistema y aquellas que pertenecen a su entorno. Es así como, los sistemas circulatorio, nervioso y digestivo, entre otros, pertenecen al sistema, mientras que la jaula, el galpón y las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa) son parte del entorno. El entorno del sistema está condicionado al ambiente que brinda el galpón, que está ubicado en una zona geográfica de clima medio, con una temperatura exterior de 18°C y humedad relativa de 70%, mientras que el clima interior presenta una temperatura de 20°C y humedad relativa de 80%.

Los componentes que presenta el sistema pueden ser observados en la figura 13; digestivo, respiratorio y endocrino, entre otros. Se puede admitir que cada uno de estos componentes es un subsistema y, por consiguiente, se puede realizar su análisis con la misma metodología; ya que observados de forma individual constituyen un sistema. Estos componentes propuestos rígidos, ya que

12 A medida que necesitemos mayor información sobre el sistema se irá incorporando para realizar el análisis correspondiente.

4. LA EMPRESA AGROPECUARIA COMO SISTEMA

Figura 12. Cuy y su fisiología como un sistema.



Fuente: los autores.

se puede plantear de forma diferente, pues dependerá del enfoque que se tome para realizar el análisis.

Los ingresos, insumos o corrientes de entrada, se pueden observar en la figura anterior. De esta manera, los ingresos para el sistema cuy son: el alimento (balanceado comercial, pasto y arbustiva), oxígeno del medio externo y agua. Estos insumos le permiten al animal, desarrollar sus actividades internas para alcanzar el objetivo.

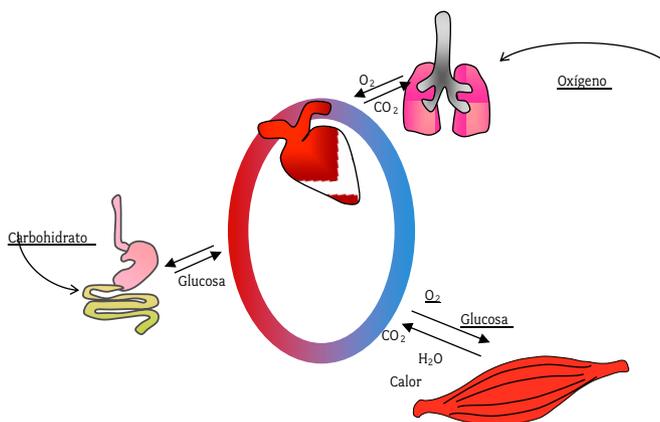
Entre los egresos, salidas o corrientes de salida, están: excretas, orina, pelos, calor, dióxido carbónico y carne; y por el objetivo planteado, este último es el de mayor relevancia para el análisis.

En el caso propuesto (cuy), se observa como los flujos de entrada al sistema se caracterizan por ser unos controlables (sobre los cuales tenemos capacidad de decisión) y otros no. Para el primer caso, están el forraje, la arbustiva y el suplemento alimenticio; estas entradas pueden estar bajo el control de la persona encargada del sistema, porque puede cambiarlas o modificarlas, para adecuarlas al objetivo propuesto. Si, por ejemplo, el alimento balanceado comercial no presenta los resultados esperados, se puede decidir remplazarlo por otro, que aporte un mayor contenido energético, que permitiría un aporte extra para que el animal lo utilice en un mayor crecimiento corporal y, por consiguiente, más carne para el sistema al final del proceso.

También se puede evidenciar en el sistema propuesto, una entrada que escapa del control de la persona a cargo del sistema; el oxígeno necesario para el metabolismo de los alimentos (oxidación de los nutrientes), dado que este dependerá de su disponibilidad en el medio¹³, puede estar limitado y por consiguiente afecta el sistema, incluso conllevaría a la muerte del animal.

Al continuar con el proceso de análisis en forma lineal, se debe abordar el proceso interno del sistema, por consiguiente, se muestran las relaciones existentes. En la figura 13, se observa el proceso secuencial de la obtención y uso de la energía presente en un alimento por parte del animal. El proceso comienza con dos entradas, que para el caso son los carbohidratos y el oxígeno. El primero en sufrir modificaciones es el carbohidrato, que mediante los procesos digestivos es desdoblado en componentes más pequeños, entre estos la glucosa, una de las fuentes de energía del músculo, así el sistema digestivo entrega glucosa al sistema circulatorio y este la transporta hasta el músculo, lugar donde se necesita. Por otra parte, el sistema respiratorio toma oxígeno del medio y se difunde al torrente sanguíneo para llevarlo a través de la sangre al músculo. Ambas entradas, ya en el músculo, se utilizan para la producción de energía, que se usa para generar el movimiento del animal.

Figura 13. Uso de la energía en el sistema cuy.



Fuente: Los autores.

13 En este momento se habla de una circunstancia extrema, aunque plausible, para dar un mejor entendimiento de lo comentado.

4. LA EMPRESA AGROPECUARIA COMO SISTEMA

Luego de determinar las relaciones que presentan los componentes del sistema cuy, es necesario entender las propiedades de un sistema. Al hablar de sinergia, en el proceso en análisis, este se da a través de la energía producida en el sistema, ya que no se puede obtener la energía de forma independiente con el oxígeno o el carbohidrato, ya que se necesita la reacción por todo el sistema en su conjunto para obtenerla. Se identifica la retroalimentación en el sistema, a través de los eventos ocurridos en el sistema circulatorio, encargado de transportar la glucosa porque se conoce que, al presentarse una saturación de glucosa en el torrente sanguíneo, se envían señales químicas, para que no ingrese más glucosa al sistema y así la concentración de glucosa en sangre, se retroalimenta y se regula (homeostasis).

Finalmente, se puede observar los diferentes tipos de salida del sistema. Un producto principal, el cual era el objetivo de todo el proceso, es la energía que se utilizará junto con los aminoácidos para la síntesis de proteínas musculares que finalmente es la carne para consumo humano. También se obtiene un subproducto, que es el agua, la cual se reincorpora al sistema para colaborar en otros procesos y finalmente, un residuo, el dióxido carbónico producto de la digestión de la glucosa, que se entrega al medio, a través del sistema respiratorio.

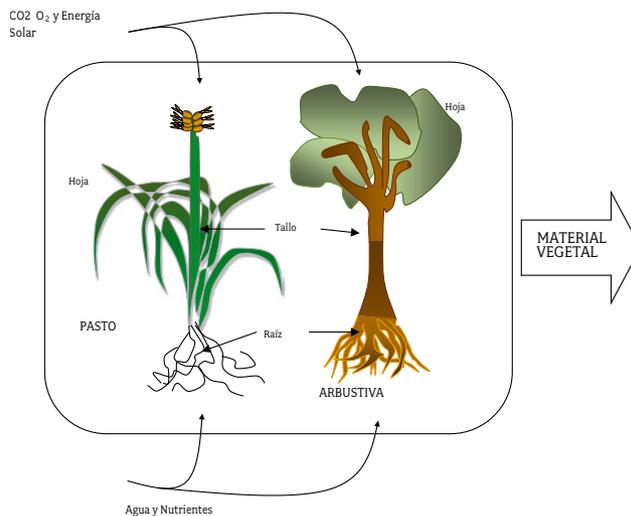
Al describir de forma superficial el funcionamiento del **subsistema cuy**, se logra la apropiación de los conceptos del análisis de sistemas, pero es necesario incrementar los límites del sistema para comprender de forma real el sistema en estudio, a través de la incorporación de otros componentes que lo caracterizan. En consecuencia, se debe recordar que el sistema cuy para engorde es solo un componente del subsistema biológico y que este último, pertenece al **sistema de producción de cuyes**. Por ahora, se prosigue con el análisis del componente forrajero en el cual, igual que en el caso anterior, se realizará la conceptualización teniendo en cuenta a Spedding (1979).

El propósito del sistema es entregar el alimento base (forraje) para alimentar a los cuyes. El límite del sistema es la frontera de las parcelas donde se encuentran el pasto y la arbustiva. El entorno del sistema se caracteriza por estar en una zona dentro de la finca con características topográficas y de suelos específicas. Los componentes del sistema son el pasto Brasileiro (*Phalaris arundinacea*) y arbustiva Botón de Oro (*Tithonia diversifolia*). Las entradas del sistema son dióxido carbónico (CO₂), luz solar, nutrientes (suelo) y agua. Las salidas del sistema son el forraje (alimento), oxígeno, agua y ornamentación (arbustiva).

Luego de enumerar las partes que constituyen el sistema, se procede a integrarlas para una mejor comprensión. En la figura 14, se los componentes que constituyen el pasto y la arbustiva. Así, cada componente se caracteriza por tener las siguientes partes: hoja, tallo y raíz. De esta manera, se resalta cómo las entradas ingresan por diversas partes; la hoja permite la captura del CO_2 , O_2 y la luz solar, mientras que la raíz absorbe los nutrientes y el agua presentes en el suelo. La raíz, mediante el tallo, entrega estos nutrientes (incluida el agua) a la hoja, donde el proceso de fotosíntesis permite la síntesis de carbohidratos para suplir las necesidades de la planta. Dentro del enfoque íntegro, las plantas (pasto y arbustiva) utilizarán las entradas para su crecimiento y como resultado, entregarán material vegetal para el consumo animal.

Hasta aquí, se expusieron dos componentes del subsistema biológico, que permiten tener una idea de sus componentes, ahora se abordará la unión de estos dos componentes para realizar el análisis sobre el subsistema biológico, profundizando aún más el análisis del sistema.

Figura 14. Componente forrajero



Fuente: los autores.

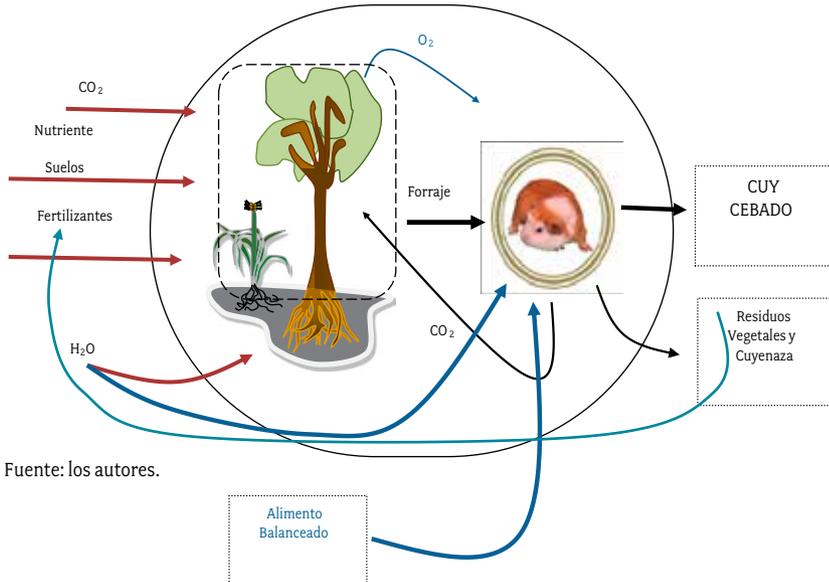
La figura 15 presenta parte de la estructura del subsistema biológico, en este caso se puede observar cómo interactúan los diversos componentes.

4. LA EMPRESA AGROPECUARIA COMO SISTEMA

Para este caso, las entradas son las mismas, las salidas están restringidas a aquellas con relevancia del análisis en particular, ya sea por su importancia en el sistema o por su impacto dentro del mismo. Así, se puede observar que el agua es una entrada común a los componentes forrajero y animal. También, se observa otras entradas como el CO_2 , los nutrientes del suelo, los fertilizantes, el O_2 y el alimento balanceado, las cuales se distribuyen entre los componentes de manera independiente.

Para el caso de las salidas y como resultado total del subsistema, se muestra en negrilla, mientras que las otras ingresan de un componente a otro en forma lineal, sin que salgan de este. El caso más evidente del ejemplo es el forraje que es entregado al componente animal por el componente forrajero.

Figura 15. Componentes forrajero y animal.



Fuente: los autores.

Fuente: los autores.

Es importante detenerse un momento para descifrar algunas de las relaciones que pueden darse en el sistema y que mejoran su comprensión. La relación más directa entre los componentes es el suministro de alimento vegetal (forraje); sin embargo, debe considerarse interacciones entre los componentes que favorecen al sistema, tal es el caso entre la arbustiva y el pasto. El componente cuyes en etapa de engorde tiene requerimientos nutricionales (proteína, energía, minerales, entre otros) que deben ser aportados por la ración a través de tres

entradas: el pasto, la arbustiva y el alimento balanceado. Al considerar los dos primeros, es claro que, en algún momento, pueden suplirse esos nutrientes si se incorporan en la ración de los animales de forma estratégica y en las fases fisiológicas adecuadas de los forrajes, así el pasto aportaría gran parte de la energía requerida, mientras que la arbustiva realizaría el mayor aporte de proteína. Aquí se observa una interacción dentro del sistema, ya que los dos forrajes no lograrían, de manera separada, expresar la mayor producción de carne en el animal, lo que seguramente se lograría al utilizar los dos tipos de materiales en la ración. Finalmente, es posible, dentro de cierto rango, disminuir o eliminar el uso del alimento balanceado, para reducir los costos de producción del sistema. La energía es clave en el correcto funcionamiento del sistema, para el caso del cuy con la incorporación de dos fuentes de alimentación (forraje y arbustiva) se puede lograr disminuir el alimento balanceado.

Las salidas mostradas en la figura son variadas, pero permiten mostrar el impacto que el sistema puede generar sobre su entorno, al tener en cuenta que el objetivo de producir carne se logra, pero no se tiene una idea precisa de la eficiencia del proceso. Adicional a la obtención del objetivo, se puede considerar otras salidas como el oxígeno.

Como resultado de los procesos del sistema, se puede observar por primera vez en el análisis un subproducto, que son los residuos vegetales y la cuyenaza, que se convierten en ingresos para el sistema como fertilizantes orgánicos¹⁴.

De esta forma, se caracterizó parte del subsistema biológico, teniendo en cuenta dos de sus componentes, ahora se describirá cómo el entorno influye sobre el mismo. Existen variables del ambiente que no son controlables y que afectan de forma indirecta a los objetivos del subsistema. Es decir, es posible ubicarlo en un **estado del entorno del sistema**, como es el caso de la temporada seca, dado que existe una disminución considerable del agua que ingresa, se puede generar una serie de **eventos del sistema** tales como: el componente forrajero disminuye la producción de alimento vegetal (particularmente el pasto brasilero) y por consiguiente baja el aporte de nutrientes (proveniente del forraje) y con ello, se afecta la productividad de los cuyes en etapa de engorde, extendiendo el tiempo necesario para llegar al peso de comercialización, esto debe llevar al administrador a controlar esta variable mediante el uso de riego

14 En algunos casos las salidas son simplemente desechadas, sin oportunidad de reintegrarlas al sistema, así se puede argumentar que el sistema está perdiendo insumos que podrían generar un impacto favorable sobre los objetivos propuestos.

4. LA EMPRESA AGROPECUARIA COMO SISTEMA

sobre el subsistema forrajero. Como se puede ver, la caracterización permite que surjan nuevas técnicas en la forma de producir, con una posible mejora de la eficiencia del sistema. Finalmente, se representa todo el subsistema biológico en análisis, a través de la figura 16, es aquí donde empieza realmente el análisis de sistema agropecuario, pero faltándole elementos que podrían ser importantes para optimizar su funcionamiento.

En el análisis ingresan todos los componentes del subsistema biológico propuestos al inicio del ejemplo, de tal forma que se conoce cada componente. En consecuencia, se pueden plantear algunas conclusiones: la estructura de un sistema dependerá del número de componentes; a medida que se incorpora mayor número de componentes, la estructura es más compleja. Cada componente posee características individuales, que tienen determinado grado de influencia sobre la estructura del sistema y permite determinar diferentes tipos de componentes; sin embargo, el número y el tipo de componentes no es tan importante como el arreglo de estos en el sistema. El tipo de arreglos, al igual que el número y tipo de componentes, limitan las formas de interacción dentro del sistema; se puede decir que los sistemas que tienen un bajo número de componentes limitan la cantidad de interacciones; sin embargo, en muchos sistemas pueden encontrarse estas relaciones en diferentes formas de arreglos (Molina, 2005). En esta parte, se requiere profundizar un poco más en el concepto de límite, dado que es significativo para describir los sistemas agropecuarios; este separa al sistema de su ambiente (entorno), y en su interior se encuentran los ejecutores, componentes y recursos que son contralados por quien toma las decisiones en el sistema. Para el caso agropecuario, se debe incluir toda la tierra (área) utilizada para el propósito agropecuario, con la inclusión de los cultivos que son manejados por ciclo (Molina, 2005). Los límites tienen la característica de ser una representación abstracta de una línea que separa al sistema de su entorno, esto hace que los límites sean impuestos por quien realice el análisis, en concordancia con los intereses de evaluación del mismo.

Para el análisis en curso, se representan los límites como una línea punteada alrededor de los componentes del sistema. Al observar las figuras anteriores, es posible deducir que se realizó una reducción de los componentes que integra esta línea, hasta estrechar estos límites para obtener un componente o subsistema al interior del sistema.

Pero un sistema agropecuario como se mencionó inicialmente, no solo tiene el componente biológico, sino también está compuesto de otras partes que de-

ben ser analizadas para mejorar el análisis y obtener conclusiones válidas. Por ejemplo, el subsistema operacional y administrativo, incorpora en el análisis dos elementos más, un elemento de control generalmente asumido por un administrador y la parte operacional, generalmente asumida por un operario. Estos dos elementos, pueden incluirse dentro de la parte de capital de trabajo del sistema, además suele suceder que estas funciones en muchos casos son asumidas por una misma persona, que generalmente es el dueño del sistema productivo.

Todo proceso productivo, se debe desarrollar de forma ordenada con el fin de llegar a los objetivos propuestos, así se puede ver que los sistemas agropecuarios no llegan a un punto de equilibrio en forma espontánea, sino que, mediante el uso de los medios de producción como las instalaciones, maquinaria y su mantenimiento, se puede encaminar de una forma correcta al sistema. Pero esto hace necesario una demanda de trabajo, siendo este un elemento muy dinámico dentro del sistema; este dinamismo refleja lo influenciado que se encuentra un sistema de su entorno.

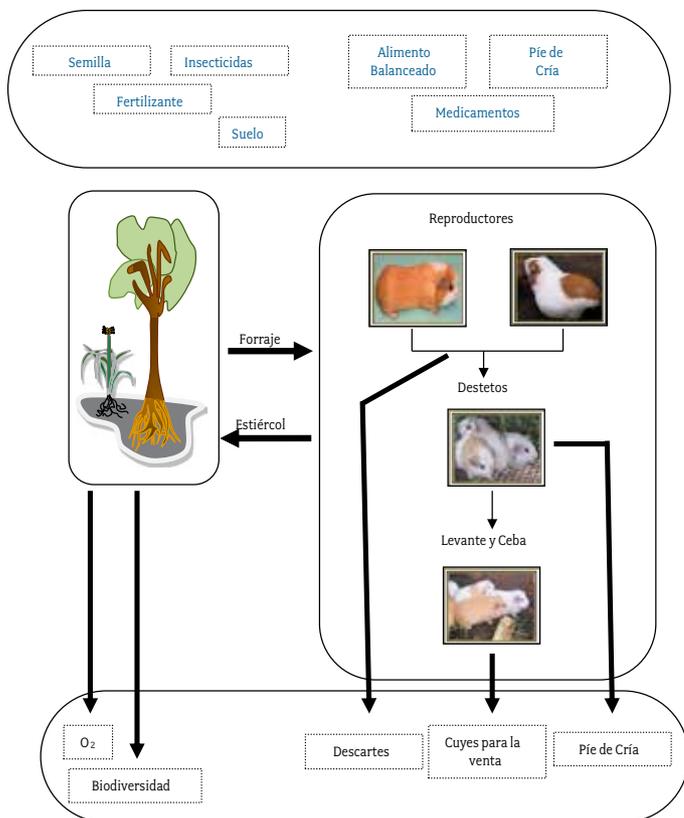
La mano de obra disponible en un sistema productivo puede encontrarse en diferentes condiciones, estar supeditada a los integrantes de la familia, o ser contratada a terceros con el fin de desarrollar las actividades. Las modificaciones en la demanda de trabajo dependerán de condiciones medio ambientales, sociales y políticas; por ejemplo, cuando la climatología es adversa para la realización del trabajo, la enfermedad de quien realiza el trabajo y en el caso particular de producción de subsistencia, esta puede llegar a ser estructural, por la salida de un integrante de la familia, también la falta de relevo generacional dentro de este tipo de producciones (Ruíz y Oregui, 2001).

La parte administrativa se convierte en el control del sistema, quien observa las salidas y se retroalimenta de ellas. De esta manera, quien administra el sistema se convierte en un componente del mismo, determinando qué tipo de retroalimentación debe seguir el sistema, ya sea negativa o positiva; en la primera se puede observar en el ejemplo, que un exceso de consumo de alimento balanceado por parte de los animales, tiene una retroalimentación negativa, por lo cual se busca reducir el consumo del balanceado para disminuir los costos de producción. La segunda puede ser el cambio provocado por la selección de los animales, que mejoraría ciertas características productivas que no se plantearon como objetivo del sistema.

En muchos centros de enseñanza, los esfuerzos científicos se centran en el funcionamiento de los sistemas desde el punto de vista biológico, de esta ma-

4. LA EMPRESA AGROPECUARIA COMO SISTEMA

Figura 16. Subsistema biológico que concurren en la formación del sistema de producción de carne de cuy.



Fuente: los autores.

nera se olvida que la interacción biológica debe ser incorporada en un mundo comercial, siendo el dinero un factor de suma importancia para su desarrollo (Yadav, 2019). La mano de obra es uno de los principales rubros dentro de la estructura de costos de producción y por esta razón, el productor debe controlar el flujo de esta a través del sistema, para determinar cómo su influencia sobre la rentabilidad de sistema.

Así, en muchos casos, se cree que, con determinada cantidad de fertilizante, se conduciría a una mejor producción del pasto, aumentando su rendimiento valores absolutos, sin embargo, es necesario determinar los efectos sobre los costos, el valor de producción y los beneficios o perjuicios adicionales, entre otros factores de importancia (Carlos et al. 2020).

Toda esta caracterización y conceptualización del subsistema puede ser llevado a un modelo que permita comprender la dinámica del sistema y su comportamiento en relación con las modificaciones del mismo. En cuanto al análisis de sistemas agropecuarios campesinos, Apollin y Eberhart (1999) refieren el uso de conceptos operativos que determinan diferentes niveles de organización.

- **El sistema agrario.** A nivel de la comunidad o de una microrregión. Se caracteriza por tener una extensión relativamente amplia, en donde se puede encontrar varios sistemas de producción que están supeditados a condiciones agroecológicas similares.
- **El sistema de producción.** A nivel de la finca de la familia campesina. En el caso de Colombia se caracteriza por estar bajo la administración de una familia, que tiene, en su mayoría, poca tierra (minifundio).
- **El sistema de cultivo o de crianza.** A nivel de la parcela o rebaño. Se puede considerar parte de un sistema de producción y se caracteriza por ser pequeño, lo que puede evaluarse como subsistema.

Al respecto, Ruíz y Oregui (2001) descomponen el sistema agropecuario en los siguientes subsistemas: **biológico, trabajo y financiero**. El **subsistema biológico** hace parte del componente productivo propiamente dicho, como su nombre lo sustenta; se refiere a todos aquellos componentes vivos susceptibles de transformación dentro del sistema. Este subsistema, aumenta o disminuye su grado de complejidad dependiendo de la vocación del sistema; es así que puede catalogarse de dedicación agrícola, pecuaria o ambos¹⁵; sin embargo, el número de componentes identificables en el sistema puede ser modificado por los objetivos propuestos. Para tener una idea más clara de lo expuesto, se plantea un ejemplo: en una zona rural, un campesino tiene una parcela de aproximadamente una hectárea de terreno, sobre la cual tiene un cultivo de trigo; a partir de esto, se identifica el objetivo o propósito del presente sistema que es producir trigo para su comercialización.

Como se aprecia, el objetivo define como componente biológico básico al trigo, supeditando los demás componentes alrededor de este, por consiguiente, el análisis es simple en comparación con otros sistemas. Si al sistema anterior, se le incorpora un nuevo componente: tres cabras, provoca que los componentes

15 Generalmente esta es la vocación presente en la mayoría de los sistemas agropecuarios de nuestra región.

4. LA EMPRESA AGROPECUARIA COMO SISTEMA

pueden comenzar a interactuar y generan una mayor complejidad en el análisis, como utilizar la paja proveniente del trigo cosechado en la alimentación de los caprinos y el uso de caprinaza en la fertilización del trigo. En consecuencia, el objetivo del sistema ahora es producir trigo y carne de cabra para su comercialización, pero puede aumentar su grado de complejidad si los caprinos, además de producir carne, se destinan a la producción de leche, lo cual exige que entre en el análisis el componente reproductivo y con ello una nueva salida del sistema: crías destetas.

Dado que cada componente del sistema tiene su propio ritmo o ciclo, a medida que aumenta el número de componentes biológicos se observa una asincronía del sistema, es así como la introducción de los caprinos causa que lo destinado al cultivo de trigo disminuya y se incorpore recurso forrajero, y este debe ser ajustado a las necesidades de los animales, no existiendo una sincronía entre la producción forrajera y las necesidades de forraje de estos. Siendo tarea del productor lograr un equilibrio de los diversos componentes.

El **subsistema trabajo** es uno de los más dinámicos, este subsistema se genera debido a que un sistema productivo no alcanza de forma espontánea sus objetivos, sino que necesita ser direccionado a través de la incorporación de mano de obra que realice los cambios necesarios para dirigir los componentes hacia el objetivo propuesto. Sin embargo, se puede argumentar que la demanda de trabajo puede ser constante durante un ciclo productivo, claro está, supeditada su disponibilidad a factores externos, como las variaciones climatológicas que no permite realizar determinadas actividades en un momento concreto, y a factores internos, como averías de la maquinaria o enfermedad de los operarios. A lo anterior, se debe incorporar la parte de estructuración familiar del sistema, dado que puede hablarse de un sistema productivo familiar, donde la demanda de trabajo es suplida por la mano de obra familiar, lo cual condiciona al sistema a la disponibilidad de los integrantes de la familia, que genera cambios en el momento en que algunos integrantes salen del sistema productivo o los integrantes envejecen y se no da un relevo generacional.

El **subsistema financiero** está dentro del sistema, dado que existe una corriente de entrada en forma monetaria, por la venta de los productos, además de otras entradas familiares, que no tienen una relación directa con el sistema, como es el caso de préstamos de servicios a otros sistemas de producción (jornales) que, sin ser parte del proceso, inciden en el funcionamiento del sistema productivo. Sin embargo, existe una serie de salidas del sistema como consecuencia

de la puesta a punto del proceso; los costos de producción o el consumo y mano de obra familiar, que en muy pocas ocasiones se cuantifica dentro del mismo.

El mismo proceso condiciona los movimientos del subsistema financiero, haciendo que las entradas y salidas no se distribuyan de forma uniforme en el tiempo. Una de las razones para esto, se centra en el tipo de producción (objetivo) que busca el sistema, ya que es muy diferente el movimiento monetario en un sistema de producción de leche, que permite entradas diarias, en comparación con un sistema de ceba de cerdos, donde se programan las ventas por semana, o incluso ganado de ceba donde las ventas pueden llegar a realizarse por mes, y aún más allá, si el sistema es de cultivos, porque los ingresos dependen del ciclo biológico. En este sentido, el subsistema financiero, cuantifica los movimientos monetarios que se generan en el sistema y dado que son sistema abiertos, están sujetos a los vaivenes del entorno, ya que, en muchos de nuestros sistemas, el productor no tiene la capacidad de manejar el mercado.

Los sistemas agropecuarios actuales presentan una serie de desafíos que necesitan ser analizados e interpretados desde una perspectiva integradora, a través del enfoque sistémico como procedimiento para abordar los problemas que presenta este tipo de sistemas.

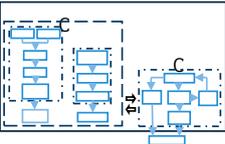
De acuerdo con Vélez (2004), los desafíos que se presentan al sector agrario son los siguientes:

- Producir mayor cantidad de alimento, en menor área, con menores efectos de contaminación de aire, agua y alimentos.
- Protección y recuperación de los recursos naturales y la biodiversidad.
- Ajustar los sistemas de producción al ordenamiento territorial vigente.
- Introducir tecnología de punta, como biotecnología, modelación, agricultura de precisión, sistemas de información geográficos (SIG) y sistemas de posicionamiento global (GPS).

Abastecer nuevos mercados como los de sellos verdes, ecológicos, de servicios ambientales y los de denominación de origen.

4. LA EMPRESA AGROPECUARIA COMO SISTEMA

Figura 17. Tipos de modelos

<p>Avión (maqueta)</p> 	<p>Es una representación de la realidad, que busca determinar la forma que posee el objeto real, aunque no tiene en cuenta su funcionamiento.</p>
<p>Avión (Papel)</p> 	<p>A diferencia del modelo anterior, el fin de este modelo, no es mostrar la forma del objeto, sino simular la forma como realiza su función de vuelo porque al compararlo con el objeto real, la estructura es diferente, aunque posea algunas similitudes.</p>
<p>Ecuación Lineal</p> $Y = \alpha + \beta i$	<p>En esta ecuación que corresponde a una función lineal, se realiza para determinar el comportamiento de una variable dependiente a partir de una variable independiente. Esta ecuación puede usarse para predecir el comportamiento de ciertos fenómenos en la realidad, como el crecimiento bacteriano en su fase de crecimiento rápido.</p>
<p>Esquema</p> 	<p>Este modelo es una representación gráfica de una parte de la realidad, que es de interés. Permite abstraer las relaciones e interacciones posibles en el sistema y de esta manera, comprender su funcionamiento.</p>
<p>Computacional</p> 	<p>Los modelos computacionales son representaciones de realidades complejas; las cuales se caracterizan por tener gran variedad de componentes (generan variables) y por consiguiente un gran número de relaciones e interacciones entre los mismos, que no pueden ser comprendidos con las capacidades mentales del ser humano. Los sistemas biológicos poseen este tipo de características.</p>

5. MODELOS COMO HERRAMIENTA PARA EL ENFOQUE SISTÉMICO

En el transcurso de la vida, se tiene contacto directo o indirecto con infinidad de modelos, desde niños, al tener como sustento para jugar, algunos modelos de la realidad, como un carro de juguete, que le permite interactuar con un modelo de automóvil, aunque su propósito es el entretenimiento. De la misma manera, las niñas juegan con instrumentos de belleza de juguete, que semejan la realidad, a que todavía no acceden por su edad o desarrollo.

En la escuela, los profesores enseñan con mapas la conformación del país, como modelos válidos para describir las características de la región y del mundo. Estos son algunos ejemplos de la cantidad de modelos que, en muchos casos, ni siquiera reconocemos como tal. Los modelos permiten simplificar la realidad para mejorar su entendimiento, es por ello que las ciencias agropecuarias hacen uso de modelos para tratar de comprender la compleja realidad en la cual se desarrollan.

Un **modelo** es una representación o bosquejo de un conjunto existente en la realidad, que trata de describirlo con cierto grado de precisión, tratando de acercarse de la manera más completa a este (Jurado et al., 2021). Sin embargo, no es una réplica exacta de la realidad representada. Los modelos permiten comprender la realidad de una mejor manera, siendo muy útiles en los casos en que, dada las condiciones, es imposible trabajar de forma directa con la realidad objeto de interés (Wadsworth, 1997).

El modelado de la realidad es una herramienta e incluso podría decirse una metodología, que permite acercarse a la complejidad de los sistemas naturales o artificiales y determinar el comportamiento de los sistemas frente a factores que involucran cambios o perturbaciones. Los modelos son abstracciones de la realidad, creadas a partir del comportamiento de un sistema en evaluación, que finalmente arrojan información de interés, dado que permiten evaluar el comportamiento de la realidad cuando se introducen cambios significativos que la afectan.

Muchos de los sistemas biológicos no pueden ser estudiados de forma directa, por sus particularidades; es ahí que la modelación entra en juego para permitir su estudio fuera de un ambiente físico (Peláez y Mejía, 2000).

Por ejemplo, se tiene interés en que los estudiantes de un colegio conozcan los avestruces. Dado que los recursos de la institución no son suficientes para llevar a los niños a ver al animal, el profesor decide mostrarles un dibujo, este es un modelo del avestruz, que los aproxima a la idea y les permite ver ciertas características; también se puede mostrarles una fotografía, la cual detalla características adicionales. Es más, el profesor puede presentarles un modelo tridimensional (Zoma et al., 2020). Como se aprecia en el ejemplo, las condiciones particulares de la institución no permitían un conocimiento directo del animal, por lo cual, los modelos presentados sirven como alternativa para tratar de llegar al objetivo propuesto (conocer los avestruces).

Existen diferentes tipos de modelos, los cuales se diferencian por el propósito que buscan. De esta manera, se puede ver modelos físicos; gráficos, estatuas, maquetas, o desde modelos matemáticos sencillos, hasta modelos matemáticos complicados, que únicamente pueden ser desarrollados a través de medios computacionales, como se muestra en la figura 17, las características que presentan los modelos definen el fin para el cual fueron realizados.

Teniendo en cuenta lo mencionado sobre los modelos hasta este momento, es posible clasificarlos en **cualitativos y cuantitativos**.

5.1 Modelos cualitativos. De acuerdo con la denominación de estos modelos, se busca representar de manera general, las relaciones existentes entre los componentes de un sistema, sin pretender cuantificar estas relaciones. De esta manera, el fin de este tipo de representaciones es facilitar el entendimiento del sistema, permitiendo observar cómo funcionan sus componentes y qué relaciones presentan con los demás componentes del sistema (Barrantes et al., 2017).

Dentro de este tipo de modelos son de interés particular los modelos gráficos, ya que son herramientas sencillas y valiosas para conceptualizar los sistemas agropecuarios. Al comenzar la construcción de estos modelos, lo primero que se debe tener en cuenta, que se parte de una estructura sencilla y a partir de ésta se amplía el modelo hasta incluir en el análisis todos los componentes que presentan interés (factores esenciales), al final se podrá tener una descripción del proceso, con el detalle adecuado para el cumplimiento del objetivo propuesto.

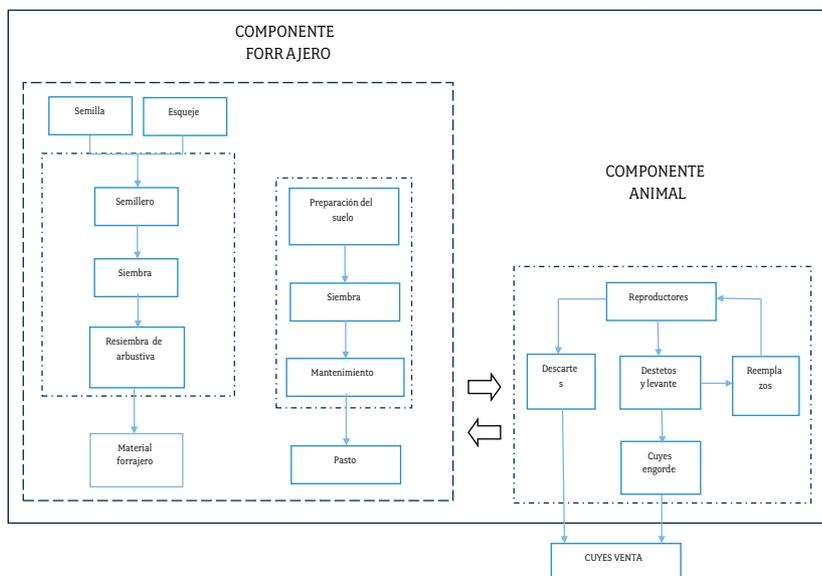
Para este proceso, el analista debe hacer uso de su capacidad creativa, entusiasmo y la necesidad de desarrollarlo. Es recomendable, empezar con un modelo gráfico, desde la parte sencilla y por consiguiente más general del sistema en análisis, y luego ir ampliando el modelo hasta incluir en el esquema los compo-

5. MODELOS COMO HERRAMIENTA PARA EL ENFOQUE SISTÉMICO

nentes esenciales, esto permite llegar a la descripción del proceso en los detalles específicos de interés (Wadsworth, 1997).

Al retomar el ejemplo del **sistema de producción de cuyes**, para mostrar la forma como quedaría estructurado su esquema, como aparece en la figura 18, se observa únicamente los componentes animal y forrajero, excluyendo del sistema otros componentes. En este esquema, se puede determinar el flujo del proceso y, por tanto, se tiene una comprensión de su funcionamiento. Sin embargo, el esquema no permite cuantificar el resultado obtenido, ni observar la eficiencia del sistema, ya que en muchos casos se necesita la cuantificación de los factores para determinar si la rentabilidad del sistema es acorde con su vocación particular o sería mejor dedicarse a otra actividad .

Figura 18. Modelación cualitativa de un sistema de producción cuyícola



Fuente: los autores.

El hecho de que los modelos cualitativos sean descriptivos, no les quita importancia en el análisis de sistemas agropecuarios, ya que son estos los que permiten realizar la modelación en la parte cuantitativa. Se puede decir que estos son la estructura sobre la cual se edificarán las relaciones matemáticas de un modelo cuantitativo.

5.2 Modelos cuantitativos. La diferencia radica en que para el análisis se incorporan datos medibles o cuantificables, que permiten observar los resultados en valores numéricos. En esta clasificación, se encuentran los modelos matemáticos, siendo un modo particular de observar la realidad representada. Este debe tener una aplicación real y para ello se traducen los problemas propios de la realidad a lenguaje matemático, con el fin de intentar la interpretación de los resultados. La potencia de estos modelos se evidencia en su capacidad de simulación que permite la predicción del comportamiento del sistema bajo un tiempo y condiciones predeterminadas. Igualmente, permiten una mayor profundización de la realidad original, que habilite utilizar el modelo desarrollado para las siguientes funciones: el análisis, el diseño, la optimización y/o el control del sistema. La formulación del modelo debe estar acorde con el objetivo buscado en el análisis, ya que influye sobre los procesos generados en el mismo (Rodríguez, 2006).

De acuerdo con Lloret (1996):

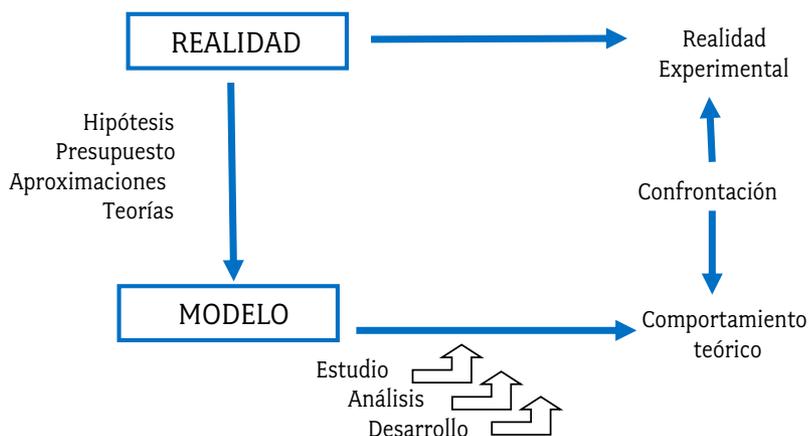
“...las ciencias biológicas durante las dos últimas décadas han aplicado modelización matemática a una gran variedad de problemas (modelos de neuronas, interacciones de población, procesos ecológicos, etc.). La modelización matemática es una metodología sistemática que ha probado con éxito descubrir y comprender los procesos subyacentes y causa en la naturaleza a partir de sus relaciones y partes observables. Un modelo es quizás la meta de cualquier investigador en ciencias básicas, obtener un modelo con el que podamos comprender mejor y algunas veces predecir un fenómeno natural en cuestión. Prerrequisitos para modelizar incluyen la especificación del sistema objeto y enfocar la cuestión o problema, por lo que debemos especificar cuál es el estado del sistema, esto es, identificar un conjunto óptimo de variables de estado y las cantidades macroscópicas que permitan una descripción efectiva de un aspecto específico del sistema bajo estudio” (p. 118).

En la actualidad, el diseño de modelos y la simulación del comportamiento de los sistemas a través de estos, no sería posible sin un desarrollo paralelo de medios y métodos computacionales cada vez más potentes, que permiten manejar modelos con mayor complejidad. Para realizar modelaciones, el primer paso es la observación del sistema real, y la obtención de datos (aquí se marca la importancia de los registros en un sistema productivo). Sin embargo, dado que la complejidad de los sistemas es excesiva, se debe identificar el tipo de componentes y elementos que incluirá el modelo.

5. MODELOS COMO HERRAMIENTA PARA EL ENFOQUE SISTÉMICO

Ya definido el modelo¹⁶, este debe responder a instrucciones básicas que permitan determinar respuestas congruentes con lo observado en la realidad. Dado que muchos de estos primeros modelos no se adecuan a lo requerido por el analista, ya sea por resultar excesivamente complejos, o presentar un enfoque diferente, se debe recurrir a simplificar el modelo e incluir o excluir elementos de este que redireccionan los objetivos determinados (figura 19)

Figura 19. Etapas para realizar una correcta modelación de los sistemas pecuarios



Fuente: Puerta Hernández (2017).

La figura anterior, muestra que, para realizar modelación, el proceso o metodología es reiterativo, lo que hace que no sea de forma lineal. Parte de una realidad concreta, que suministra información a través de metodologías de observación o experimentación, y con esta se generan hipótesis, presupuestos y aproximaciones, que permiten construir un modelo de la realidad objeto de estudio. El modelo se desarrolla, analiza y estudia para obtener un comportamiento denominado teórico, para finalmente ser confrontado con la realidad experimental, donde se determina el ajuste del modelo a la realidad en análisis (Puerta, 2017).

16 En este caso el modelo base.

Referencias

- Alba, M. (1995). *Introducción a la Teoría General de Sistemas y al análisis de sistemas de información*. Editorial Universidad Autónoma de Manizales.
- Alexandre, G., Rodríguez, L., Arece, J., Delgadillo, J., García, G., Habermeier, K., y Archimède, H. (2021). Agroecological practices to support tropical livestock farming systems: a Caribbean and Latin American perspective. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 1-13.
- Alfonso, W. y Galindo, L. (2011). *Evolución de la visión sistémica en el pensamiento urbano del siglo XX: la integración de las disciplinas hacia la sociedad sustentable*. Editorial Universidad del Rosario.
- Apollin, F. y Eberhart, C. (1999). Análisis y diagnóstico de los sistemas de producción en el medio rural. Universidad de Pichincha.
- Ashby, W. (1991). *Principles of the self-organizing system: Facets of systems science*. Springer.
- Åström, K. y Murray, R. (2010). *Feedback systems*. Princeton University Press.
- Barrantes Bravo, C., Salinas Flores, J. y Yagüe Blanco, J. (2017). Factores que influyen en el acceso a la extensión agropecuaria en Perú: Buscando modelos más inclusivos. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 14(2), 205-217.
- Beer, S. (1960). Cybernetics and management. *Journal of Symbolic Logic*, 25(3), 12-23.
- Bertalanffy, L. (1979). *Perspectiva de la teoría general de sistemas*. Editorial Alianza Universitaria.
- Bertóglío, O. (1993). *Introducción a la teoría general de sistemas*. Editorial Limusa S.A.
- Betancourt, O., Mertens, F. y Parra, M. (2016). *Enfoques ecosistémicos en salud y ambiente: aportes teórico-metodológicos de una comunidad de práctica*. Quito (Ecuador). Editorial Abya-Yala.
- Boulding, K. (1956). General systems theory—the skeleton of science. *Management science*, 2(3), 197-208.
- Cannon, W. (1929). Organization for physiological homeostasis. *Physiological reviews*, 9(3), 399-431.
- Carlos, F., De Oliveira Denardin, L., Martins, A., Anghinoni, I., De Faccio Carvalho, P., Rossi, I. y De Oliveira Camargo, F. (2020). Integrated crop–livestock systems in lowlands increase the availability of nutrients to irrigated rice. *Land Degradation & Development*, 31(18), 2962-2972.
- Cesari, A., Reißer, S., y Bussi, G. (2018). Using the maximum entropy principle to combine simulations and solution experiments. *Computation*, 6(1), 15.
- Checkland P. (1993). *Pensamiento de Sistemas, Prácticas de Sistemas*. Grupo Noriega Editores.
- Chen, F. (2005). Positive periodic solutions of neutral Lotka–Volterra system with feedback control. *Applied Mathematics and Computation*, 162(3), 1279-1302.
- Cisneros, V. (2021). *Enfoque sistémico: administración y gestión educacional*. Editorial Acribia.

- Corning, P. (2021). Systems theory and the role of synergy in the evolution of living systems. *Systems Research and Behavioral Science*, 31(2), 181-196.
- De La Peña, G. y Velázquez, R. (2018). Algunas reflexiones sobre la teoría general de sistemas y el enfoque sistémico en las investigaciones científicas. *Revista Cubana de Educación Superior*, 37(2), 31-44.
- Deangelis, D., Post, W., y Travis, C. (2012). *Positive feedback in natural systems*. Springer Science & Business.
- Erazo, A. (2015). Un enfoque sistémico para comprender y mejorar los sistemas de salud. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 38(3), 248-253.
- Farina, E. y Zylbersztajn, M. (2019). Deregulation, chain differentiation and the role of government. *Journal of microbiology*, 34(3), 23-45.
- Fernández Sánchez, E. (2010). *Administración de empresas un enfoque interdisciplinar*. Editorial Paraninfo.
- Fremont, K. y Rosenzweig, J. (2021). *Administración en las organizaciones: un enfoque de sistemas*. Editorial Mc Graw Hill.
- Gaitán, A., Fontana, A., y Vicco, M. (2019). El coexistir del mecanicismo reduccionista y el holismo. *Revista Argentina de Medicina*, 7(4), 224-227.
- García, R. (2011). Interdisciplinariedad y sistemas complejos. *Revista Latinoamericana de metodología de las ciencias Sociales*, 1(1), 66-101.
- Graf, E. (2014). *El abordaje de la realidad a través del enfoque de sistemas: ecología agraria*. Editorial Acribia.
- Grün, E., y Botero Bernal, A. (2008). Hacia una teoría sistémico-cibernética del derecho. *Vni-versitas*, 11(7), 41-64.
- Gutiérrez, A. (2002). *Del macroscopio al microscopio: historia de la medicina científica*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Gutiérrez Cedillo, J., Aguilera Gómez, L., y Gonzáles Esquivel, C. (2018). Agroecología y sostenibilidad. *Convergencia*, 46(enero-abril), 51-87
- Jakobsen, T. (2015). Reconciling Reductionism and Holism in the Biological Sciences: An Interpretation of Biological Kinds as Causal Homogeneous Functional Kinds. *GSTF Journal of General Philosophy (JPhilo)*, 1(1), 34-42.
- Janssen, S., Porter, C., Moore, A., Athanasiadis, I., Foster, I., Jones, J., y Antle, J. (2017). Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products: Information and communication technology. *Agricultural systems*, 155(3), 200-212.
- Jara, D., y Villareal, E. (2021). George Dantzig: Padre de la programación lineal. *ASOiMAT*, 7(1), 31-33.
- Kay, I. (2020). *Introduction to animal physiology*. Garland Science.
- Kurambaev, Y., Karimova, Z., y Yakubova, M. (2020). features of the influence of pesticides different by the specificity of agricultural production on health indicators of children. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(2), 2455-2462.

Referencias

- Lesne, A. (2014). Shannon entropy: a rigorous notion at the crossroads between probability, information theory, dynamical systems and statistical physics. *Mathematical Structures in Computer Science*, 24(3), 1-43.
- Lloret, M. (2019). *Sistemas vivos y sus modelos matemáticos. Modelación de ecosistemas*. Universidad de Alicante.
- Machado, H., Suset, A., Martín, G., y Funes Monzote, F. (2009). Del enfoque reduccionista al enfoque de sistema en la agricultura cubana: un necesario cambio de visión. *Pastos y Forrajes*, 32(3), 1-1.
- Martínez, F. y Londoño, J. (2012). El pensamiento sistémico como herramienta metodológica para la resolución de problemas. *Revista Soluciones de Postgrado EIA*, 8(1), 43-65.
- Mendieta, J. (2012). *Enfoque sistémico del hábitad: aproximación conceptual y metodológica*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Molina, V. (2005). *Caracterización de los sistemas de producción de ganado bovino en tierra caliente del estado de Michoacán. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán.
- Osorio, F., Arnol, M., Gonzáles López, S. y Aguado López, E. (2008). *La nueva teoría social en Hispanoamérica: introducción a la teoría de sistemas constructivista*. Centro de Estudios de Universidad Autónoma del Estado de México.
- Ospina, O., Grajales, H. y Manrique, C. (2011). Gestión del conocimiento: mayor producción y competitividad. Perspectivas para los sistemas de producción ovino-caprinos. *Revista de Medicina Veterinaria*, 22 (2), 95-103.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. (2020). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. Transformación de los sistemas alimentarios para que promuevan dietas asequibles y saludables*. FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. (2016). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación: cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria*. FAO
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. (2017). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. FAO.
- Otsuka, K. y Muraoka, R. (2017). A green revolution for sub-Saharan Africa: Past failures and future prospects. *Journal of African Economies*, 26(suppl_1), i73-i98.
- Peláez, A. y Mejía, S. (2020). Conceptos básicos de modelación matemática y simulación computacional de sistemas biológicos. Una herramienta útil para la docencia y la investigación. *Revista CES odontología*, 8(2), 51-55.
- Peña Consuegra, G. y Velázquez Ávila, R. (2018). Algunas reflexiones sobre la teoría general de sistemas y el enfoque sistémico en las investigaciones científicas. *Revista Cubana de Educación Superior*, 37(2), 31-44.
- Peterson, C., Deiss, L., y Gaudin, A. (2020). Commercial integrated crop-livestock systems achieve comparable crop yields to specialized production systems: A meta-analysis. *PloS one*, 15(5), e0231840-e0231841.

- Picard, D., y Marc, E. (1992). *La interacción social: Cultura, instituciones y Comunicación*. Editorial PAIDOS.
- Puerta Hernández, D. (2017). *Modelización de los sistemas biológicos mediante ecuaciones de la biofísica: estudio de la visión animal*. [Tesis de Doctorado, Universidad del Rosario]. Repositorio Institucional Universidad del Rosario.
- Ramírez, L. (2021). *Teoría de sistemas*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez, M. (2006). *Modelado e identificación de bioprocesos*. Departamento de ingeniería química. [Tesis de Doctorado, Universidad de Vigo]. Repositorio Institucional Universidad de Vigo.
- Rodríguez Cruz, Y. y Pinto, M. (2018). Modelo de uso de la información para la toma de decisiones estratégicas en organizaciones de información. *Transinformação*, 30(1), 51-64.
- Rosnay, J. (1977). *Le macroscopie : vers une vision globale*. Edition du Seuil.
- Rosnay, J. (1975). *El macroscopio*. Editorial AC
- Rowntree, J., Stanley, P., Maciel, I., Thorbecke, M., Rosenzweig, S., Hancock, D., y Raven, M. (2020). Ecosystem impacts and productive capacity of a multi-species pastured livestock system. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4(2), 232-240.
- Ruiz, R., y Oregui, L. (2001). El enfoque sistémico en el análisis de la producción animal: revisión bibliográfica. *Investigación Agraria*, 16(1), 29-60.
- Salcedo, S. y Guzmán, L. (2014). *Agricultura familiar en América Latina y el Caribe: recomendaciones de política*. FAO
- Schrödinger, E. (1944). *What is life?*. Dublin. Dublin Institute for advanced studies. Preston.
- Sherwin, W., y Prati Fornells, N. (2019). The introduction of entropy and information methods to ecology by Ramon Margalef. *Entropy*, 21(8),.
- Simon, H. (1969). *The sciences of the artificial*. Editorial Press.
- Solarte Portilla, C., García, H. y Figueroa, M. (2009). *Bioestadística: aplicación de producción y salud animal*. Editorial Universidad de Nariño.
- Spedding, C. (1979). *An Introduction to Agricultural Systems: the Purposes of Agriculture*. Applied Science Publishers.
- Swanson, L., Hahn, J., Jeub, L., Fortunato, S., y Sporns, O. (2018). Subsystem organization of axonal connections within and between the right and left cerebral cortex and cerebral nuclei (endbrain). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(29), E6910-E6919.
- Taghizadeh Mehrjardi, R., Nabiollahi, K., Rasoli, L., Kerry, R., y Scholten, T. (2020). Land suitability assessment and agricultural production sustainability using machine learning models. *Agronomy*, 10(4), 573.
- Tzschentke, B. (2007). Attainment of thermoregulation as affected by environmental factors. *Poultry science*, 86(5), 1025-1036.
- Van, J. (1987). *Teoría general de sistemas*. Editorial Trillas.
- Vélez, L. (2019). *El paradigma científico de las ciencias agrarias: una reflexión*. Universidad de Pamplona.

Referencias

- Venturelli, A. (2016). Historia y Epistemología de la cibernética temprana: el caso del homeostato. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento (RACC)*, 8(2), 124-133.
- Wadsworth, J. (1997). *Análisis de sistemas de producción animal: las bases conceptuales*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Technology Press.
- Yadav, A., Gendley, M., Sahu, J., Patel, P., Chandraker, K., y Dubey, A. (2019). Silvopastoral system: a prototype of livestock agroforestry. *The Pharma Innovation Journal*, 8(2), 76-82.
- Yoshida, N. (2017). Homeostatic agent for general environment. *Journal of Artificial General Intelligence*, 8(1), 1-13.
- Zoma Traoré, B., Soudré, A., Ouédraogo Koné, S., Khayatzadeh, N., Probst, L., Sölkner, J., y Wurzinger, M. (2020). From farmers to livestock keepers: a typology of cattle production systems in south-western Burkina Faso. *Tropical animal health and production*, 52(4), 2179-2189.



Enfoque sistémico de la producción pecuaria

Primera impresión

Se terminó de imprimir en Xpress Estudio Gráfico y digital
para Universidad de Nariño Febrero 1 de 2023
Bogotá, D.C. Colombia

Se utilizó papel Holmen Book 055gr Cream
y Holmen 300gr para la portada
Fuente Cambria 10.5 pt para interiores

El enfoque sistémico se ha convertido en una herramienta importante para entender los sistemas de producción animal. Sin embargo, la aplicación de los conceptos a una unidad de producción, aún está en desarrollo y necesita continuar con el fortalecimiento, a través de un mayor flujo de información sobre el tema y la manera de abordar los sistemas pecuarios.

Por lo anterior, el presente libro nace como iniciativa del doctor Javier Andrés Martínez Benavides, para presentar a los estudiantes un texto ameno y didáctico, que les permita enfrentar por primera vez los conceptos de la Teoría General de Sistemas a través del enfoque de sistemas.

A través del libro, se navega sobre los conceptos del enfoque sistémicos como los autores lo entienden, y buscan adecuarlos a cualquier tipo de sistema de producción. A pesar de observarse un alto contenido de sistemas pecuarios regionales como los sistemas de producción cuyícola.

ISBN: 978-628-7509-40-5



Universidad de Nariño
FUNDADA EN 1984

ai

Universidad de Nariño
ACREDITADA DE ALTA CALIDAD
RESOLUCIÓN MEN 10607 - MARZO 22 DE 2017

Editorial
Universidad de Nariño