

## COMERCIO VIRTUAL DE AGUA Y HUELLA HIDROLÓGICA EN PRODUCCIONES GANADERAS

### La DP ecoeficiente en proyectos y programas de generación de alimentos de origen animal

Martínez, J. <sup>(p)</sup>; Muñoz, A.; Lorenzo, M., Ramis, G., Olucha, B., Pallarés, F.J., Ruiz, A.

#### Abstract

The rational and sustainable use of water as a basic raw material in the production of animal-based foodstuffs for human consumption requires a new approach to unite criteria of ecoefficiency and concepts of better use, availability and recycling.

The global production of animal-based protein (meat, fish, eggs and milk) is extremely significant: 90 million tonnes of pork, 57 million tonnes of beef, 58 million tonnes of chicken, 568 million m<sup>3</sup> of litres of milk, 50 million tonnes of eggs and 32 million tonnes of fish from aquaculture. Such production volumes are expected to double in the year 2050.

If we take an average animal with a live weight of 110 kg as a productive reference, between 8 and 19 litres of drinking water per day are required, between 6 and 85 litres of clearing water per day depending on the productive cycle and lairage type; 300 kg of feed (in order to produce one kg of wheat, 900 litres of water are needed) and 1,000 litres of manure is produced (99% water content) with an average N content of between 4 and 5 kg N/m<sup>3</sup>. During slaughtering and processing, between 50 and 80 litres of water are used.

Concerning energy, this production type (110 kg of live weight) requires 1000 litres of fossil fuel, which in turn generate 2.5 tonnes of CO<sub>2</sub>. In order to eliminate the nitrogen content in the waste, 2 Kwe/h is required for every 5kg of N in the manures. Livestock farming generates 18% of greenhouse gas emissions all over the world, and 65% of nitrogen oxide emissions (N<sub>2</sub>O).

This paper describes the evolution of design, projects management direction for generation of foodstuff from animal origin programs, their adaptation to certain contexts by introducing essential eco-efficiency indicators and methodologies in the internal organization and external projects managed by the zootechnical developed specific projects for our clients.

*Keywords: virtual water, valorization, project management, live cycle analisis, life cycle assessment, treatment technologies, sustainable development, food safety, health and safety, greenhouse gases, livestock, ecological footprint, hidrologycal footprint, ecoefficiency.*

#### Resumen

El uso racional y sostenible del agua como materia prima básica en la producción de alimentos de origen animal con destino al consumo humano precisa de una nueva aproximación donde convergan criterios de ecoeficiencia y de mejora en su uso, disposición y reutilización.

La producción de proteína de origen animal (carnes, pescados, huevos y leche) a nivel mundial es significativa: 90 millones de toneladas de carne de cerdo, 57 millones de toneladas de carne de vacuno, 58 millones de toneladas de carne de pollo, 568 millones de m<sup>3</sup> de litros de leche, 50 millones de toneladas de huevos y 32 millones de toneladas de carne de pescado de acuicultura Este volumen de producción se duplicará en el año 2050.

Tomando como unidad de referencia productiva un animal tipo de 110 kg de peso vivo medio se precisan entre 8 y 19 litros de agua de bebida por día y entre 6 y 85 litros de agua de limpieza y día según ciclo productivo y tipología estabular; 300 kg de pienso (para producir un kg de trigo se precisan 900 litros de agua) y se producen 1.000 litros de estiércoles líquidos (99% contenido en agua) con una carga media de N de entre 4 y 5 kg N/m<sup>3</sup>). Durante el sacrificio y procesado se utilizan entre 50 y 80 litros de agua.

En términos de energía, para esa producción tipo (110 kg peso vivo) se precisan 1.000 litros de combustibles fósiles, los cuales generan 2,5 Tm de CO<sub>2</sub>. Para eliminar la carga nitrogenada de los residuos se requiere 4 Kwe/h por cada 5 kg de N contenido en los estiércoles. La ganadería genera en todo el planeta el 18% de las emisiones de gases efecto invernadero y el 65% de las emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

El presente trabajo describe la evolución del diseño, gestión y dirección de proyectos y programas de generación de alimentos de origen animal, su adaptación a contextos determinados mediante la implantación de indicadores y metodologías de ecoeficiencia intrínsecos en la organización interna gestionada por proyectos y externos en los proyectos zootécnicos específicos desarrollados para los clientes.

*Palabras clave: agua virtual, análisis ciclo de vida, ciclo de vida del proyecto, dirección integrada de proyectos, recuperación, tecnologías de tratamiento, desarrollo sostenible, seguridad alimentaria, sanidad, gases efecto invernadero, producción animal, huella ecológica, huella hidrológica, ecoeficiencia.*

## 1. Introducción

La historia de la zootecnia está plagada de acontecimientos que, de alguna manera, han ido perfilando y condicionando el estado del arte de la ciencia y de la técnica para producir alimentos o cualquier otro producto de origen animal. La mayoría de estos hitos sucedieron cuando se implementó algún avance tecnológico, como los inventos de la “tabla” y el “arado” o el del “tractor” que determinaron un hito: la práctica desaparición (por sustitución) de los animales domésticos en los trabajos del campo. Más recientemente, el desarrollo de la nutrición animal y la puesta en funcionamiento de toda la industria de piensos nos condujo a las producciones intensivas y a transformar la materia prima vegetal en proteína animal al alcance de un porcentaje mucho mayor de hogares debido al abaratamiento sustancial que las producciones intensivas proporcionan a los alimentos de origen animal. Aquí se da la primera paradoja: el no reconocimiento o injusto, por parte de la sociedad a este hecho, incluso algunos sectores sociales critican sin desmán las producciones intensivas, por supuesto desde la comodidad de la ausencia de “hambre”, gracias a la oferta amplia y asequible que representan hoy los alimentos en el primer mundo y en la mayoría de las países emergentes y con economías de transición. (Figura 1)

La población en el planeta se duplica desde finales de la segunda guerra mundial en períodos de 12 a 14 años, de tal modo que a finales de la década de los años 50 del siglo pasado La Tierra albergaba a 2500 millones de personas, a finales del año 2007 superábamos los 6200 millones, las previsiones para el año 2030 superan los 7800 millones. No es difícil pues imaginar el escenario mundial y el dilema entre recursos y necesidades que el aumento de la población exige. [1]

El rápido crecimiento y desarrollo (salvo en los países tristemente clasificados como “tercermundistas”, uno de los anacronismos que caracteriza a la especie humana) de la mayor parte de los países denominados “desarrollados”, con una conciencia excesivamente tecnocéntrica, que conlleva el mantenimiento de inercias del comportamiento, entre las cuales está la creencia que los recursos básicos son casi inagotables (agua, alimentos y

energía) y al impacto que producen las actividades desarrolladas por la humanidad sobre, en y por la utilización de esos recursos básicos.

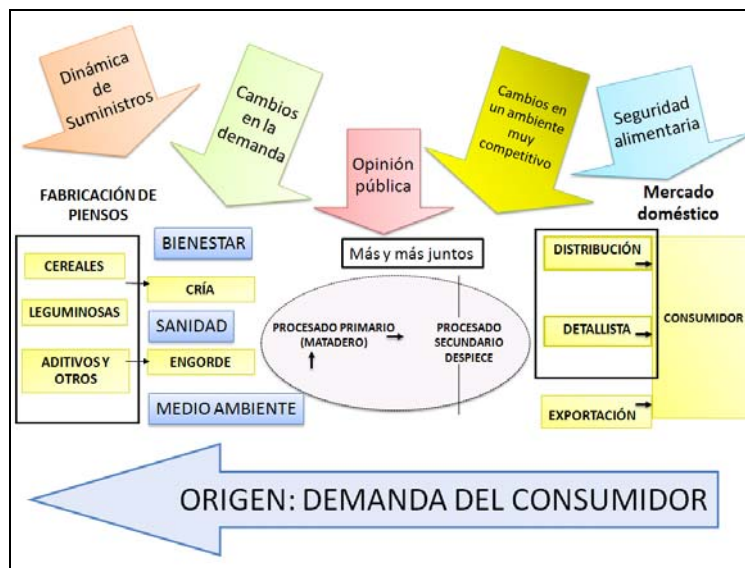


Figura 1. Dinámica para la producción de alimentos de origen animal en los Países Desarrollados

Así pues el desarrollo sostenible y las implicaciones en el entorno de la biosfera se empiezan a identificar y a asumir cómo los dos desafíos prioritarios porque ambos presentan sinergias e interdependencias comunes. Las implicaciones en la disponibilidad de alimentos, la salud humana y animal, la seguridad alimentaria, los sistemas de interfaz suelo-agua-aire y los sistemas económicos y sociales son, a la vez que vitales para el adecuado progreso del desarrollo y bienestar humano, críticos para afrontar propuestas ante el reto del nuevo milenio, capaces de hacer posible la equilibrada actividad humana, su impacto (antropismo) en el ecosistema y en los modelos económicos, donde los modelos políticos y sociales son condicionantes y donde las propuestas de la Ingeniería y de la Dirección Integrada de Proyectos (de proyectos, de sus programas y de sus carteras) debe desempeñar un papel fundamental para el imprescindible cambio de paradigma.

## 2. Objetivo y alcance del Trabajo

No parece posible que los actuales modelos de producción estén en condiciones de garantizar en el corto plazo el suministro de las necesidades básicas de la población del planeta, si no es primando a determinados grupos sociales en detrimento de otros, y aun así, el comportamiento social de la población de los países desarrollados, así como el de los países en desarrollo, seguidores del modelo de crecimiento de los primeros, con el actual contexto económico y político difícilmente podrán afrontar el impacto ambiental de sus actividades sino es mediante el conocimiento y asunción de nuevos requisitos y objetivos, cual es el crecimiento sostenible en general en base a criterios ecoeficientes. Baste como ejemplo ilustrativo la enorme confusión y tensiones que en los mercados mundiales ha generado la toma de decisiones políticas para el fomento de biocombustibles y su impacto en la disponibilidad y coste de las materias primas tradicionalmente destinadas a la alimentación animal [2],[3]. Y es en éste contexto del cambio de paradigma donde la Ingeniería de Proyectos y la Gestión y Dirección Sostenible de los mismos está llamada a desempeñar un papel fundamental. Desempeño basado en el rigor científico y técnico de las propuestas proyectuales y la ejecución de las mismas aplicando el criterio de excelencia en las habilidades de las competencias técnicas y de comportamiento en gestión y dirección de

proyectos, teniendo como referencia el ámbito del entorno y contexto de cada proyecto o programa de ellos, con especial incipiente a la multiculturalidad donde diseñar y/o ejecutar lo proyectado. (Figura 2).

El cambio tecnológico correctamente proyectado permite compatibilizar, en la mayoría de los casos, los objetivos económicos, sociales y ambientales. Y por ello constituye una variable fundamental en la consecución de unos mayores niveles de bienestar social y ambiental. Analizar cuales son los factores para el cambio tecnológico ambiental (factores tanto impulsores como obstáculos) nos suministrará una información valiosa para la toma de decisiones que permitan identificar posibles cuellos de botella para que ese cambio se produzca aplicando las medidas necesarias para resolver la situación o para reforzar las tendencias positivas al cambio.

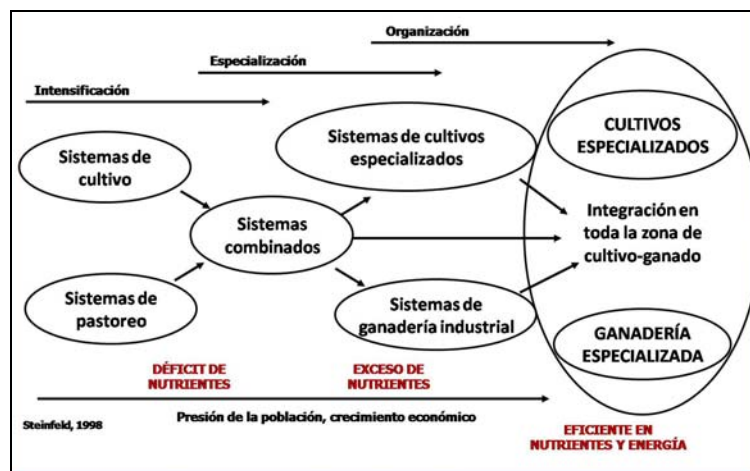


Figura 2. El Contexto de la Agricultura Animal

Este trabajo, como sucede de forma ininterrumpida desde el año 1993 en todos los Congresos Anuales de AEIPRO, recoge de forma resumida la evolución de la Cartera y de los Programas de Proyectos en SELCO MC, tanto de los realizados internamente como organización permanente gestionada en base a proyectos, como los realizados por cuenta de nuestros clientes (Ingeniería, Gestión y Dirección de Proyectos). Desde la gestación del Programa de Proyectos "Visión Global" (1987-2001) [4], hasta el cierre y lanzamiento del nuevo Programa de Proyectos "Nuevo Orden Zootécnico" (2001-hasta la fecha) [5], ha habido dos fases claramente diferenciadas, de naturaleza y entornos en permanente cambio, que nos exigieron tanto una aproximación diferente como una adaptación continua de la estrategia de la Cartera y Programa, tanto a nivel de organización permanente como para garantizar el éxito de los proyectos específicos de nuestros clientes.

El primer Programa de Proyectos "Visión Global" supuso la creación de un cuerpo de conocimiento científico y técnico muy amplio y el diseño, construcción y puesta en marcha de diferentes plantas de tratamientos de residuos animales en España, Italia y Estados Unidos, período no exento de enormes dificultades en todos los ámbitos de actuación empresarial y científico-técnica, con una inexistente política de fomento por parte de las administraciones públicas. (Figura 3).

El segundo Programa de Proyectos "Nuevo Orden Zootécnico" todavía en ejecución, si bien en fase previa al cierre y lanzamiento de un nuevo Programa, los Proyectos específicos, abarcan distintos ámbitos competenciales, en contextos más definidos y menos inestables, donde la progresiva asunción de los criterios de sostenibilidad por parte de la comunidad política y de la mayor parte de los sectores socio-económicos, si bien no facilitan de forma comprometida el deseado grado de desarrollo, no es menos cierto que ponen menos frenos

ante la evidencia de la incuestionabilidad de la interdisciplinariedad (integración de las partes involucradas) que el reto de producir alimentos de origen animal exige al final de la primera década del Siglo XXI.

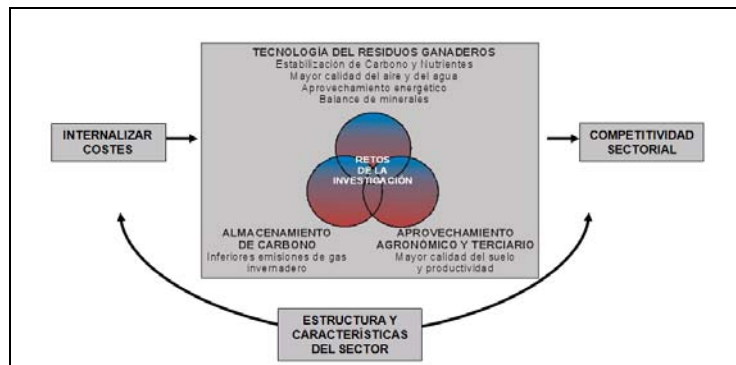
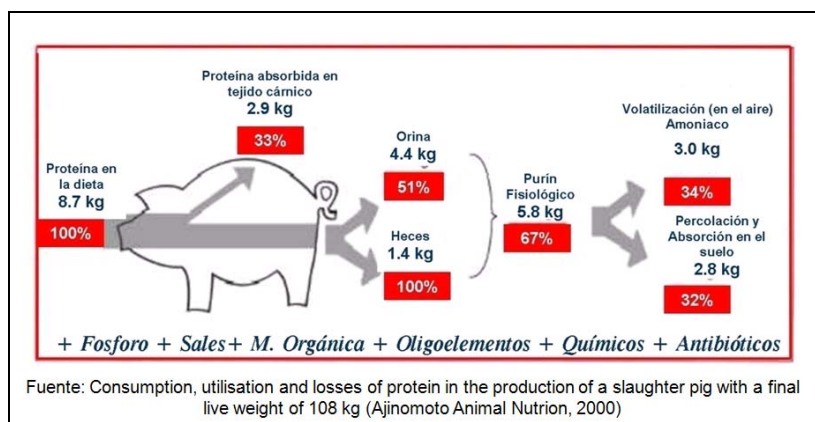


Figura 3. Retos de la investigación en Proyectos para el Tratamiento y Valorización de Residuos Animales

### 3. Nuevas Realidades: Nuevas Exigencias

#### 3.1. Origen, entorno y contexto

Una de las principales conclusiones del cierre, lecciones aprendidas y lanzamiento de los Programas de Proyectos citados fue la certificación y reconocimiento por terceras partes de la eficiencia y eficacia de nuestros Proyectos Tecnológicos aplicados a la valorización y tratamiento de los residuos y subproductos generados en las explotaciones ganaderas y en las industrias transformadoras, en particular con las alternativas tecnológicas bajo patentes conocidas como SELCO-Ecopurin® y SELCO-Ecofarm® [6],[7]. Sin embargo, continuaba existiendo un importante grado de rechazo por parte del productor (ganadero) y de la industria transformadora (matadero, despiece, elaboración de productos transformados), y era común en todos los países y continentes donde habíamos diseñado, construido y puesto en marcha nuestras soluciones ambientales (ingeniería y tecnología aplicadas al residuo generado). ¿Porque se producía este rechazo, habiendo acreditado por tercera parte la viabilidad técnica? Si bien la viabilidad técnica y por ende ambiental estaba demostrada, continuaba en duda la viabilidad económica, la capacidad del proyecto tecnológico para internalizar el coste ambiental de las actividades ganaderas. (Figura 4).



Fuente: Consumption, utilisation and losses of protein in the production of a slaughter pig with a final live weight of 108 kg (Ajinomoto Animal Nutrition, 2000)

Figura 4. La ineficiencia del Proceso Productor

En la estructura de coste de cualquier actividad zotécnica productora de proteína animal (carne, leche, huevos, pescado) las materias primas básicas están relacionadas con la alimentación del ganado y representan entre el 70 y el 75% de los costes fijos de producción. En los albores del cambio del milenio, en ningún estado miembro de la UE se contemplaba planes específicos de fomento para internalizar esos costes derivados de las leyes recién implantadas y otras en fase de transposición: protección de las aguas continentales contra la contaminación proveniente de esas actividades, ley integrada de protección ambiental (IPPC), bienestar animal, prohibición de harinas cárnicas, prohibición de promotores del crecimiento, trazabilidad, destrucción de cadáveres, bioseguridad y seguridad alimentaria, una incipiente batería de obligaciones legales con un denominador común: aumento de costes de producción y reducción de la competitividad de la ganadería española y europea frente a una nueva amenaza sectorial en ciernes: la reducción arancelaria de los productos ganaderos provenientes de países no UE, en las rondas negociadoras de la OMC ([8] (Figura 5).

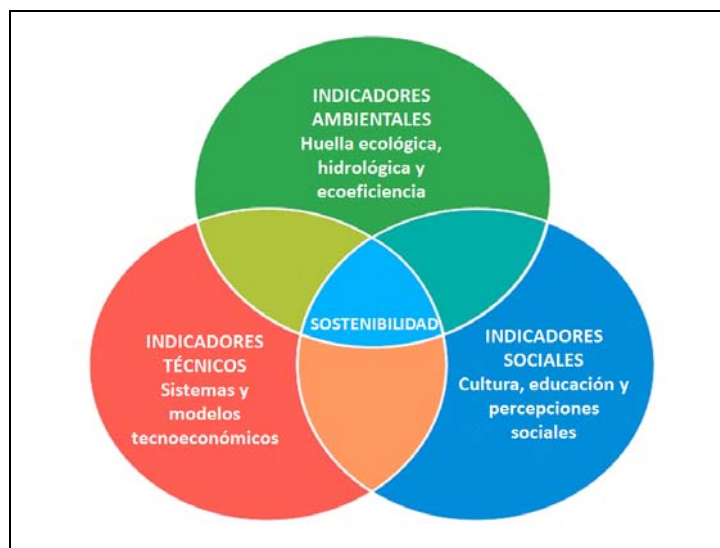


Figura 5. Ecoeficiencia en Proyectos de Ingeniería .Indicadores ambientales, técnicos, económicos y sociales. Adaptado de RAE 2005.

### 3.2. El nuevo Programa de Proyectos: alineando estrategia y cartera

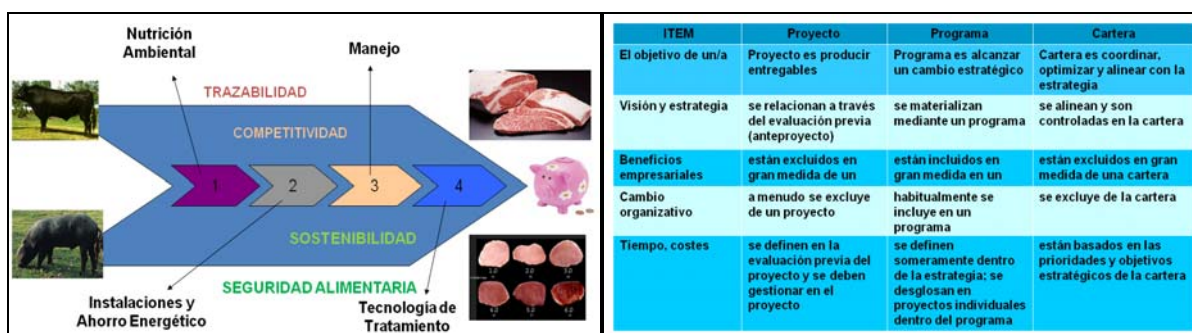
Necesitábamos ser capaces de transmitir a todos los actores involucrados el concepto “aprender a pensar y pensar mejor”, en como hacer racional la determinación del “para qué” previa a la del “cómo”. Teníamos que ser capaces de encontrar formas para facilitar la visión de la totalidad con sus componentes y sus relaciones de dependencias y menesteres, teniendo como fundamento estratégico del nuevo Programa la mentalidad imperante en el sector ganadero y que la compatibilidad cultural de la gran parte de los ganaderos está limitada por la memoria de trabajo y por las capacidades de atención y de relacionar cosas diversas y nuevas: estructura de costes y competitividad, nuevas exigencias sanitarias, de bienestar y ambientales y la evidencia del cumplimiento mediante trazabilidad [9].

Reconocer y asumir la realidad de la limitación de recursos y la necesaria sostenibilidad, ciertamente era el “reto-oportunidad” más relevante y sobre el que la gestión de la cartera debía influir para aumentar la presencia y el negocio de los proyectos y alternativas tecnológicas de SELCO MC. La necesidad de contribuir a reducir las huellas ecológicas e hidrológicas producidas con los sistemas agrícola-ganaderos nos imponía la necesidad de transmitir a la sociedad en su conjunto, al tiempo que la industria ganadera en particular que la producción de proteína animal en el primer mundo tiene dos grandes responsabilidades a



la hora de abordar la sostenibilidad sectorial. La primera de ellas era (y lo sigue siendo) poner remedio inmediato, in situ a los deterioros que las producciones ganaderas y su intensividad causan, aplicando criterios de rigor científico y técnico basado en la implantación de la filosofía “múltiples situaciones-múltiples soluciones” que el estado del arte permite establecer, donde los distintos ecosistemas deben ser tratados cual paciente en un hospital, tanto terapéutica como preventivamente, de ahí la ejecución de proyectos concretos en Europa (principalmente en Italia y España) y en los EE.UU (básicamente en Carolina del Norte) [10]. La segunda era informar a los países en desarrollo acerca de las mismas soluciones ambientales y su impacto ante aquellos ganaderos de esos países cuya producción iba destinada a mercados del primer mundo, acciones desarrolladas en Chile y China, garantizando así que los desarrollos intensivos en ganadería utilicen el estado del conocimiento generado independientemente del lugar de producción.

Alcanzado uno de los objetivos (sensibilización vía demostración mundial de la eficacia de nuestras alternativas tecnológicas, con distintos modelos productivos, en distintos contextos y con exigencias normativas dispares), abordamos dos ámbitos de competencias contextuales complejos: cómo hacer viable el negocio con los sistemas, productos y tecnologías, implantando proyectos específicos del Programa “Nuevo Orden Zootécnico”. Sin lugar a dudas el compromiso social e intelectual con la sostenibilidad del entorno medioambiental es el compromiso evidente que cualquier organización debe asumir para afrontar el reto de las sostenibilidad. El desarrollo, oferta e implantación de un nuevo modelo de producción ganadera (S.E.S.-Seguro, Ético, Sostenible) basado en el consumo racional de la energía a través de innovadoras soluciones ingenieriles y arquitectónicas en las instalaciones ganaderas, el uso racional y eficiente del agua, los ingredientes nutricionales en la dieta y la aplicación de la tecnología de tratamiento de residuos, focalizando más en la valorización que en la depuración de los mismos, unido a la utilización del propio ADN de los animales como soporte infalsificable de trazabilidad (genética molecular como base de la trazabilidad) nos llevó a superar el modelo convencional de producción, haciendo posible la internalización del coste ambiental y por ende la progresiva sostenibilidad de la ganadería intensiva y la minoración progresiva del grado de impacto de sus actividades. (Figuras 6 y 7).



Figuras 6 y 7. Alineando Proyectos, Programas y Carteras

### 3.3. Los factores de sostenibilidad en el nuevo modelo de producción ganadera

El sector ganadero a nivel mundial crece en relación a dos factores básicos a) con la demanda de alimentos consecuencia del incremento de la población humana y b) con la renta disponible (téngase presente que el PIB mundial per cápita en 2002 era de 5.600 \$ y las previsiones para 2025 son de 7.300 \$). El censo mundial de animales de abasto se multiplica por 4 durante el período 1994-2004, con menor número de explotaciones, pero de mayores dimensiones y mucho más concentradas territorialmente y con un modelo agrícola desligado de la aplicación agronómica de las deyecciones. Un punto de conflicto

permanente era nuestra capacidad en transmitir de forma simple y convincente que lo que una vez fue un recurso precioso y aprovechable como fuente de fertirrigación orgánica, había dejado de serlo y además se había convertido en pocos años en un foco de conflicto, de notorio impacto sanitario y ambiental: de “subproducto” a “residuo”, precisamente en ese contexto se hizo necesaria la asimilación por parte de los actores involucrados de la definición de “aptitud”, es decir, qué corrientes secundarias del proceso de producción ganadera consideramos “residuo” y cuáles “subproducto” [11].

El esquema evidenciaba el potencial impacto ambiental de la producción ganadera (como los de cualquier otro proceso productivo), y se circunscribía a dos tipos de modificaciones-interacciones con el medio ambiente:

- A) Modificaciones relacionadas con el aprovechamiento de determinados recursos: agua, piensos, otras materias primas y energía que se introducen en el proceso productivo y salen de la cadena como producto acabado, p.e.: kg de carne, litros de leche, etc; y
- B) Modificaciones relacionadas con las inmisiones y emisiones al medio ambiente durante la corriente primaria (proceso de cría del ganado), especialmente emisiones gaseosas y deyecciones en los propios establos y de las relaciones con las inmisiones en las corrientes secundarias (manejo en granja, almacenamiento y disposición de cadáveres, estiércoles y purines, productos químicos y veterinarios utilizados y/o asimilados) que contienen y/o generan sustancias contaminantes o no beneficiosas, capaces de alterar el bienestar animal y por ende la calidad del producto, la salud humana y la calidad del medio ambiente.

#### **4. Definición de indicadores y metodologías utilizadas en la implantación del Programa de Proyectos “Nuevo Orden Zootécnico”**

La problemática de la producción sostenible de proteína animal es compleja e interdisciplinaria, al relacionar problemas diversos y de distintos orígenes, p.e.: desde las molestias de los malos olores en los alrededores de las actividades, hasta los riesgos de transmisión de enfermedades entre explotaciones (epizootías) y también de higiene y salud pública (zoonosis). Para convertir el “problema” en “reto” (riesgo-oportunidad), diseñamos un sistema de medición, que fuese asumible por todas las partes involucradas, a modo de herramienta común mediante indicadores de sostenibilidad que nos permitiesen transmitir el conocimiento de forma objetiva (riesgo-oportunidad y partes implicadas), al tiempo que sirviesen de instrumentos de ayuda para la toma de decisiones por parte de la totalidad de las partes involucradas. Esta forma de enfocar el marco metodológico en esta fase del Programa resalta la importancia del análisis de ciclo de vida del proyecto, aplicando los criterios de sostenibilidad que seguidamente se indicarán, con aportes interdisciplinarios (ingeniería, veterinaria, nutrición y salud humana, entorno social, sectorial y político).

Así pues en el marco metodológico en la creación de un Programa Ecoeficiente de Proyectos Sostenibles en producción de proteína animal, se identificaron tres nexos de interacción permanente (“desde la genética del animal al tenedor del consumidor”), a saber: agua, nutrientes y energía. Apareciendo en consecuencia los indicadores: huella ecológica y ecoeficiencia, agua virtual y huella hidrológica y carga nutriente (con énfasis en las formas N-nitrógeno) y energía como indicadores cualitativos y cuantitativos de la metodología, que si bien ya habían sido indicados a nivel genérico, no habían sido adaptados a la Zootecnia ni a su Gestión y Dirección Integrada como Proyectos Sostenibles. Estos indicadores son:

4.1.1. Huella ecológica y Ecoeficiencia como Indicador #1

4.1.2. Agua Virtual y Huella Hidrológica como Indicador #2



## 4.1.3. Carga Nutriente y Huella Energética como Indicador #3

## 4.1.4. Contrahuella como Indicador #4

**4.1.1. Huella Ecológica y Ecoeficiencia**

El concepto de huella ecológica definida por M.Wackernagel y col [12] es un indicador ambiental de carácter integrador del impacto que ejerce una determinada comunidad humana, país, región o ciudad sobre su entorno y representa el área de terreno necesario para producir los recursos consumidos y para asimilar los residuos generados por una población determinada con un modo de vida específico, independientemente de la ubicación geográfica del área.

**4.1.1(a). Metodología de cálculo adaptada**

Contabilización del consumo de tres categorías ecológicas: I. Cultivos y pastos para la producción de materias primas destinada a nutrición animal, II. Terreno construido en las explotaciones ganaderas y III. Área de absorción de CO<sub>2</sub>, entendida como la superficie de bosque necesaria para la absorción del CO<sub>2</sub> generado en la producción de la energía que consume la explotación zootécnica y transformarlo en superficie biológica productiva apropiada a través de índices de productividad, donde:

- Huella individual para cada recurso ( tres categorías ecológicas) I+II+III):  $aa=c/p$ 
  - aa: área apropiada per cápita para la producción de un kilo de proteína animal (carne, leche, huevos, pescados);
  - c: consumo medio anual de ese alimento (kg o litro/cápita);
  - p: productividad media o rendimiento (kg o litro/ unidad animal);
- Huella ecológica per cápita (sumatorio de la huella individual) =  $ef=aa$
- Huella global (de una región/país):  $HG = (\text{producción} + \text{importación-exportación})/\text{productividad media mundial}$ ;
- Huella local:  $HL=HG*\text{factor de rendimiento}$
- Déficit ecológico zootécnico: diferencia entre el área disponible (entendido como capacidad de carga) y el área consumida (huella ecológica) en un lugar geográfico determinado, nos indica la teórica sobreexplotación del capital natural y por consiguiente del grado de incapacidad de regeneración, tanto a nivel local como global.
- Capacidad de carga zootécnica: entendida como la capacidad local disponible (superficie construida-edificada en cada explotación + déficit de terrenos para aplicación agronómica), teniendo en cuenta la productividad de la explotación ganadera y un % definido para la conservación de la biodiversidad, nos indica el grado de explotación sostenible a la que puede ser sometido el terreno/área geográfica de ubicación de la explotación ganadera sin dañar de manera permanente ese área.
- Ecoeficiencia zootécnica: la producción de animales (proteína de origen animal destinada al consumo humano) debe trascender a la mera identificación de los impactos ambientales ocasionados por la ganadería y se basa en el concepto de producir más riqueza con menos recursos, con lo cual el indicador trasciende de la simple valoración de impactos ambientales, circunscribiéndose en el horizonte de la sostenibilidad total. De los indicadores establecidos por M. Lezni como indicadores de ecoeficiencia se correlacionan el PIBc (PIB corporativo= cash flow más salarios) y

se dividen por los tres indicadores ambientales de mayor impacto en ganadería: agua utilizada, energía utilizada y carga nutriente, con énfasis en todas las formas nitrogenadas y enlaza con el desarrollo de los siguientes indicadores #2 y #3 que seguidamente se describen. (Figura 8).



Figura 8. Huella ecológica española estándar. Fuente: M<sup>o</sup> Medio Ambiente: "Análisis preliminar de la huella ecológica en España. Informe de Síntesis. 02 Julio 2007.

*Nota: hag son hectáreas globales, tras aplicar factores de equivalencia por superficies productivas, de manera que los resultados sean comparables.*

#### 4.1.2. Agua Virtual y Huella Hidrológica:

Hay poca discusión respecto de la escasez y falta de agua y sobre todo de agua de calidad para el abastecimiento humano, y que esta escasez es creciente y que comportará una fuente permanente de conflictos durante el presente siglo [13]. El término "agua virtual" introducido por T. Allan [14] se define como el volumen de agua necesario para fabricar un determinado producto o para prestar un determinado servicio. Pero en zootecnia el volumen efectivo (virtual) de agua directamente utilizada para producir p.e. "n" kg de carne de cerdo, no es sinónimo de volumen requerido inmediato, p.e. el volumen del agua que se necesita para criar y cebar un cerdo de 108 kg de peso vivo en 155 días. Haddadin define a esta necesidad de agua como "agua exógena". Más aun en la producción integrada de animales y su transformación en alimentos elaborados, precisamos identificar y medir tanto la cantidad de agua requerida para la producción de un kg de peso vivo animal como del agua contenida en un kg de alimento de origen animal elaborado y puesto a disposición del consumidor.

La disponibilidad de agua para producir p.e. un kilo de carne de una especie determinada (supongamos carne de cerdo, para simplificar el ejemplo) no es la misma en todas las regiones geográficas del planeta, entre otras razones porque las materias primas básicas (proteína de origen vegetal) : a) no están disponibles en todos los lugares donde se crían cerdos; b) porque dependiendo de la geografía y la climatología se utiliza una determinada cantidad de agua para producir esas materias primas que sirven para el alimento a un cerdo; c) dependiendo de los usos y sistemas zootécnicos en cada área geográfica el consumo de los distintos usos de agua es distinto y d) dependiendo del destino final del kg carne de cerdo (en canal, semielaborado o elaborado), tanto el consumo como el contenido de agua es distinto.

A este nivel de disponibilidad y uso total del agua, el grado de eficiencia en su utilización y a las características geoclimáticas del lugar de cría-transformación de animales en alimentos ha sido profusamente estudiado y documentado por A. Hoekstra , P. Hung y A. Chapagain [15] y se define como “Huella Hidrológica o Huella Hídrica” y en cierta medida es un indicador comparable al de “Huella Ecológica”, especialmente relevante en Gestión y Dirección de Proyectos Zootécnicos.

**4.1.2(a). Principios metodológicos**

El agua virtual internacional fluye en relación al comercio de productos derivados de la ganadería en general y al ganado por especies de abasto en particular y son calculados multiplicando los volúmenes del comercio (tonelada/año) con su contenido virtual de agua (m<sup>3</sup>/ton). Es necesario para valorar primero el contenido virtual de agua de un animal vivo y entonces distribuir esto entre los diferentes productos derivados del animal. Distinguimos los productos de  $n_p$ , los cuales se originan en las clases de  $n_a$  de cada animal. Cada producto individual viene de un único tipo determinado de animal. Para simplificar se asume que un producto de ganado exportado de un cierto país realmente es producido completamente dentro de ese país, y que el animal se ha alimentado, bebido y ha vivido de sus recursos domésticos. (Tabla 1).

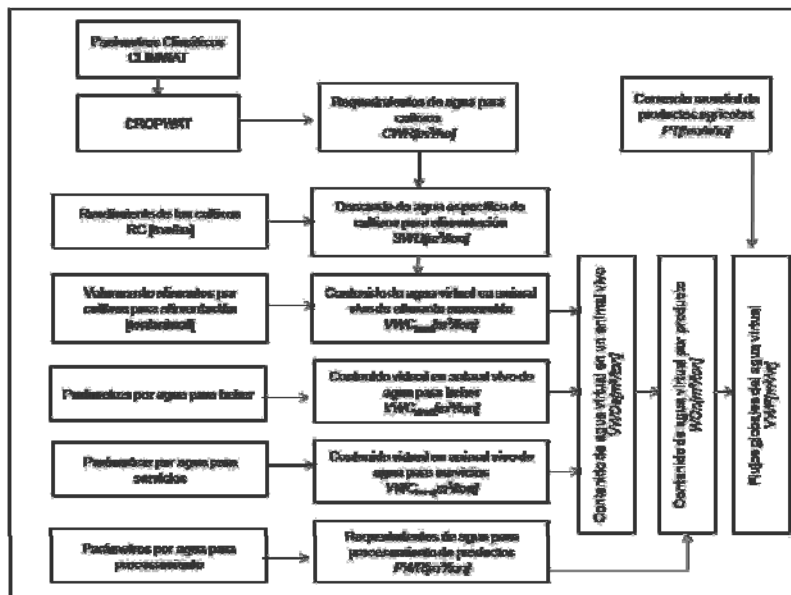


Tabla 1. Procedimiento para el cálculo del flujo global de agua virtual en relación con el comercio mundial de ganado y productos agrícolas. Adaptado de A.Hoeskstra (2004).

**4.1.2 (b). El cálculo del contenido virtual de agua en los animales vivos**

**Los tres componentes del contenido virtual de agua de un animal vivo**

El contenido virtual de agua de un animal al final de su vida (pre-sacrificio) es definido como el volumen total de agua que fue utilizada para crecer y procesar su comida, para proporcionar su agua potable, y para limpieza de las instalaciones. Hay tres componentes para el contenido virtual del agua de un animal vivo:

$$VWC_a[e, a] = VWC_{feed}[e, a] + VWC_{drink}[e, a] + VWC_{serv}[e, a] \quad (1)$$

$VWC_a$  = contenido virtual de agua de un animal  $a$  para exportar al país  $e$  expresado en metros cúbicos de agua por tonelada de animal vivo.

$VWC_{feed}$ ,  $VWC_{drink}$  y  $VWC_{serv}$  = contenido virtual de agua para alimentación, bebida y servicios.

Expresamos todos los componentes en términos de metros cúbicos de agua por tonelada de animal vivo.

### El contenido virtual del agua en el alimento consumido

El contenido virtual de agua en el alimento consumido de un animal tiene dos componentes. El primero es el agua real requerida para preparar la mezcla de comida y el segundo es el agua virtual contenida en los diversos ingredientes de dicha comida. El contenido virtual del agua para alimentar un animal hasta el final de su vida (pre-sacrificio) es calculado de la siguiente manera:

$$VWC_{feed}[e, a] = \frac{\int_{birth}^{slaughter} \left\{ q_{mixing}[e, a] + \sum_{c=1}^{n_c} SWD[e, c] \times C[e, a, c] \right\} dt}{W_a[e, a]} \quad (2)$$

$WC_{feed}[e, a]$  = expresado en metros cúbicos de agua por tonelada de animal vivo.

$q_{mixing}[e, a]$  = el volumen de agua necesaria para mezclar la comida de animal  $a$  exportar al país  $e$  ( $m^3/d$ ).

$C[e, a, c]$  = la cantidad de la cosecha  $c$  de comida consumida por un animal  $a$  para exportar al país  $e$ , expresado en toneladas por día.

$SWD[e, c]$  = la demanda específica de agua de la cosecha  $c$  para exportar al país  $e$ , expresado en  $m^3$  por tonelada de cosecha.

$W_a[E, un]$  = promedio del peso de animal vivo  $a$  exportado al país  $e$  al final de su vida, expresado en toneladas.

Para cada cosecha  $c$  de comida, la demanda específica media de agua es calculada por el país  $e$ :

$$SWD[e, c] = \frac{CWR[e, c]}{CY[e, c]} \quad (3)$$

$CWR[e, c]$  representa el requisito de agua de cosecha de la cosecha  $c$  en el país  $e$  ( $m^3/ha$ )

$CY[e, c]$  rendimiento de la cosecha (tonelada/ha).

### El contenido virtual del agua para beber

Expresamos el contenido virtual de agua aquí en términos del volumen de agua por tonelada de animal vivo, y así calculamos el contenido virtual de agua de beber como:

$$VWC_{drink}[e,a] = \frac{\int_{birth}^{slaughter} q_d[e,a] dt}{W_a[e,a]} \tag{4}$$

$q_d[e,a]$  es el requisito diario de agua potable de un animal  $a$  para exportar al país  $e$  ( $m^3/día$ ).  $W_a[e,a]$  es el peso vivo del animal al final de su vida (pre-sacrificio).

**El contenido virtual del agua para servicios**

El contenido virtual del agua para servicios es calculado como

$$VWC_{serv}[e,a] = \frac{\int_{birth}^{slaughter} q_{serv}[e,a] dt}{W_a[e,a]} \tag{5}$$

$VWC_{serv}[e,a]$  representa el contenido virtual de agua de un animal  $a$  para exportar al país  $e$  y es expresado en metros cúbicos de agua por tonelada de animal vivo.

$q_{serv}[e,a]$  es el requisito diario de agua de servicio ( $m^3/d$ ) de un animal  $a$  para exportar al país  $e$ .

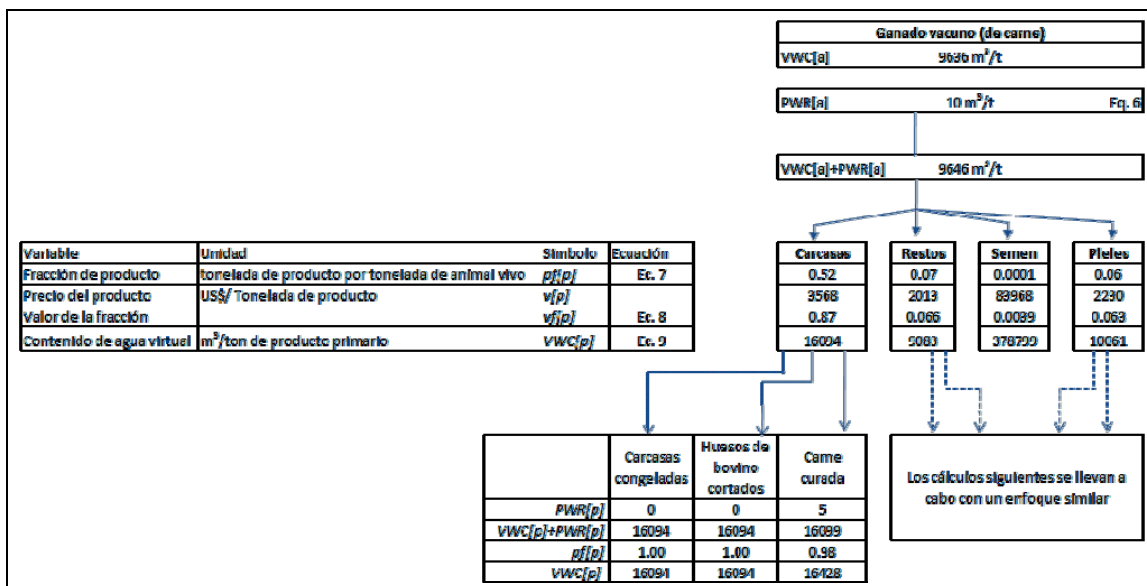


Tabla 2. Diagrama esquemático del cálculo del contenido de agua virtual procedente del ganado vacuno de carne. Adaptado de A.Hoekstra (2004).

**4.1.2(c). Cálculo del contenido de agua virtual de productos pecuarios**

**Los niveles de producción**

Basada en la sección anterior podemos calcular el contenido completo de agua virtual de un animal. Pero necesitamos conocer además, cual es el contenido de agua virtual específica en los productos pecuarios servidos, tales como carne, leche, queso, mantequilla, cuero, pieles, etc. El contenido de agua virtual de un animal vivo es parte de los productos servidos

de los animales sacrificados. Tenemos que distribuir el contenido de agua virtual de un animal vivo de tal manera que entre los productos de origen animal no se produzca una doble contabilidad. La doble contabilidad, por ejemplo, sucedería si primero se atribuye el contenido virtual completo de agua de una vaca a su leche, y luego de nuevo a su carne.

Con el fin de analizar de manera sistemática asumimos los niveles de producción. Los productos derivados directamente de un animal vivo se llaman productos pecuarios primarios. Por ejemplo, las vacas producen leche, un cadáver y su piel como productos primarios. Algunos de estos productos pecuarios primarios son transformados en los llamados productos pecuarios secundarios, como el queso y la mantequilla que proceden de los productos primarios de la leche, carne y embutidos cuyo origen es el animal sacrificado. En el futuro deberá incorporarse como producto secundario la energía obtenida por el tratamiento del cadáver, el agua y la fracción orgánica enmendante recuperada durante el proceso de tratamiento y valorización de los purines y estiércoles, que deberán ser considerados productos secundarios ecoeficientes.

### Primer nivel de procesamiento (productos primarios procedentes de animales vivos)

El contenido de agua virtual de un producto primario incluye (o es parte de) el contenido de agua virtual del animal vivo más el agua necesaria en su procesamiento. El agua necesaria para el procesamiento por tonelada de animales vivos se define como:

$$PWR[e, a] = \frac{Q_{proc}[e, a]}{W_a[e, a]} \quad (6)$$

**$PWR[e, a]$**  = el agua necesaria para el procesamiento por tonelada de un animal vivo  **$a$**  para la producción de productos primarios en un país exportador  **$e$**  ( $m^3/ton$ ).

**$Q_{proc}[e, a]$**  = el volumen de agua para procesamiento en  $m^3$  por un animal vivo  **$a$**  en país exportador  **$e$** .

El contenido total de agua virtual de un animal vivo (VWCa) y el agua necesaria para su procesamiento (PWR) deben ser atribuidas a los productos primarios por tonelada de animales vivos de un modo lógico. Para ello, se introducen dos términos, «Fracción de Producto» y «Valor de la Fracción». La fracción del producto  $pf[e, p]$  del producto  $p$  en un país exportador  $e$  es definido como el peso del producto primario obtenido por tonelada de animales vivos.

$$pf[e, p] = \frac{W_p[e, p]}{W_a[e, a]} \quad (7)$$

**$W_p[e, p]$**  = el peso del producto primario  **$p$**  obtenido a partir de un animal vivo en un país exportador  **$e$** .

**$W_a[e, a]$**  es el peso vivo del animal  **$a$**  en un país exportador  **$e$** .

Generalmente la fracción del producto es inferior a uno, porque el producto se deriva de sólo una parte del animal. Sin embargo, si un producto se obtiene durante el transcurso de la vida de un animal, como en el caso de la leche y los huevos, el  $pf$  puede ser superior a uno.

El valor de la fracción  $vf[e, p]$ , es la proporción del valor de mercado de un producto procedente del animal hasta la suma del precio de mercado de todos los productos del animal.



$$vf[e, p] = \left[ \frac{v[p] \times pf[e, p]}{\sum (v[p] \times pf[e, p])} \right] \quad (8)$$

El denominador es el total de los productos primarios que se originan en animales procedentes de **a**. La variable **v [p]** es el valor de mercado del producto **p** (US\$. / tonelada). Por lo tanto, el contenido de agua virtual (**VWC**) del producto primario **p** en m3/ton es,

$$VWC_p[e, p] = (VWC_a[e, a] + PWR[e, a]) \times \frac{vf[e, p]}{pf[e, p]} \quad (9)$$

### Segundo nivel de procesamiento (productos secundarios de los productos primarios)

La producción de productos secundarios también requiere un poco de agua para procesamiento. El contenido de agua virtual de un producto secundario se compone de (en parte de) el contenido de agua virtual del producto raíz primario y del agua consumida para su procesamiento. En este caso el requerimiento de agua para su procesamiento PWR [e, p], se define como el volumen de agua necesaria para procesar una tonelada de producto primario p en productos secundarios.

La fracción del producto pf [e, p], ahora se define como proporción del peso del producto secundario p obtenido, por tonelada del producto primario del país exportador e. Del mismo modo, el valor de la fracción vf [e, p] se define como la proporción del valor de mercado de un producto secundario con el valor total de mercado de todos los productos procedentes de los productos primarios.

Por lo tanto, el contenido de agua virtual del producto secundaria p en m3/ton se calcula utilizando el mismo enfoque que se ha descrito para los productos primarios. La diferencia es que aquí tomamos el contenido de agua virtual del producto primario y el agua necesaria para el procesamiento de los productos primarios en productos secundarios como la base.

De la misma manera podemos calcular el contenido de agua virtual de productos terciarios, etc. El primer paso es siempre obtener el contenido de agua virtual de la raíz del producto primario y el agua necesaria para su procesamiento. El total de estos dos elementos se distribuye en los distintos productos de salida, basados en su fracción de producto y en el valor de la fracción.

### Ejemplo de cálculo del agua virtual en porcicultura intensiva

#### Contenido de agua virtual de un animal vivo (VWC<sup>a</sup>)

$$\begin{aligned} VWC_a &= VWC_{drink} + VWC_{serv} + VWC_{feed} \\ &= \frac{\text{water from drinking}}{W_a} + \frac{\text{water from servicing}}{W_a} + \frac{\text{water from feed}}{W_a} \end{aligned} \quad (10)$$

Peso vivo de un cerdo cebado= 0,118 ton/animal (Nota: se trata de una media tomada como referencia del estudio original, el peso medio depende de cada país en función de determinadas variables y el rango de peso vivo oscila entre los 104 y 150 kg)

**Agua para beber**

	Lechón	Cebo
Edad (mes)	0,5	10,0
Rango de consumo diario (l/d/animal)	1,8	14,0
Promedio de consumo diario (l/d/animal)	7,90	

$$\begin{aligned} \text{Total agua para beber requerida} &= \text{Promedio de la demanda diaria} * \text{Edad} \\ &= 2.403 \text{ litro/animal} = 2,40 \text{ m}^3/\text{animal} \end{aligned}$$

**Agua para servicios**

	Lechón	Cebo
Rango de consumo diario (l/d/animal)	5,0	50,0
Promedio de consumo diario (l/d/animal)	27,50	

$$\begin{aligned} \text{Total agua para servicios requerida} &= \text{Promedio de la demanda diaria} * \text{Edad} \\ &= 8.365 \text{ litro/animal} = 8,36 \text{ m}^3/\text{animal} \end{aligned}$$

**Agua para alimentación**

Contenido de agua virtual de alimentación = Mezcla de agua y pienso + el agua virtual de las materias primas del pienso

Contenido de agua virtual del pienso

$$\begin{aligned} \text{Total agua requerida} &= \text{Promedio de la demanda diaria} * \text{Edad} \\ &= 2.403 \text{ litro/animal} = 2,40 \text{ m}^3/\text{animal} \end{aligned}$$

Materia prima en el pienso	Cantidad de comida (ton/año)			SWD (m <sup>3</sup> /ton)	Agua regadío cultivo (m <sup>3</sup> /año)	
	Cerdos TR+cebo	Cerdos Destete	Promedio de volumen de comida			
Trigo	0,069	0,001	0,035	1441	50,4	
Avena	0,039		0,020	2328	45,4	
Cebada	0,390	0,003	0,197	1098	215,7	
Otros cereales	0,004		0,002	897	1,8	
Maíz en grano	0,221	0,013	0,117	381	44,5	
Guisantes en seco	0,018		0,009	1377	12,4	
Harina de soja	0,053	0,005	0,029	1227	35,6	
Harina de colza	0,048		0,024	1098	26,3	
Micronizados	0,014		0,007	1441	10,1	

Grano total	0,856	0,022	0,439			
Porción no de grano	0,040	0,004	0,022	381	8,4	
Ración completa a base de grano	0,896	0,026	0,461			451
Consumo de agua total en forma de pienso por año				=	451	
Volumen total de agua en pienso = Edad en años * agua por año				=	376 m <sup>3</sup> /animal	

Mezcla de agua para preparación de comida (raciones)	Promedio	
Volumen total de comida (ton/año)	0,46	Ton/año
Mezcla de agua necesaria para preparación de comida		
Aproximadamente 50% del total del agua consumida	0,23	m <sup>3</sup> /año
Cantidad total (por transcurso de vida completo)	<b>0,19</b>	m <sup>3</sup> /animal

Contenido de agua virtual de comida = 376 + 0,19 = 376 m<sup>3</sup>/animal

$$\begin{aligned}
 VWC_a &= \frac{\text{water from drinking}}{W_a} + \frac{\text{water from servicing}}{W_a} + \frac{\text{water from feed}}{W_a} \\
 &= \frac{2.40}{0,12} + \frac{8.36}{0,12} + \frac{376}{0,12} \\
 &= 20 + 71 + 3.184 \\
 &= \mathbf{3.276 \text{ m}^3/\text{ton}}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

#### 4.1.3. Carga Nutriente y Huella Energética

Este tercer indicador comporta una complejidad añadida para su estimación y cálculo ex ante, debido a la estrechísima interrelación entre la optimización del coste de producción, la especialización cárnica, el manejo en granja y el impacto ambiental. El coste de la alimentación está directamente relacionado con: a) la oscilación de los precios de las materias primas base del pienso y de la disponibilidad de las mismas, b) la adecuada formulación de los piensos y su porcentaje nutricional que condicionará los factores de conversión en cada especie animal c) con la existencia de requisitos nutricionales y sanitarios en las distintas fases y sus implicaciones con las tasas de mortalidad (maternidad, destete, transición y cebo) y d) con el moderno concepto de "nutrición ambiental" [16], que intenta alinear el coste de producción con el coste ambiental, recuérdese la figura 4.

La zootecnia es un área productiva especialmente sensible a multitud de variables, al afectar permanentemente al "producto per sé = animal", cual ser vivo en permanente crecimiento, desde la gestación hasta el sacrificio y las estrategias nutricionales están condicionadas no solo con los factores de disponibilidad, coste y sanidad anteriormente citados, sino por la eficacia del propio proceso, que tiene dos limitantes, el primero relacionado con los nutrientes contenidos en la dieta, normalmente la proteína, único elemento nutricional que los animales no almacenan en su organismo y cuya no biodisponibilidad obliga a la excreción del contenido proteico no asimilado y el segundo con el sistema de gestión y manejo de las deyecciones, donde esa proteína, dependiendo del tiempo de residencia,

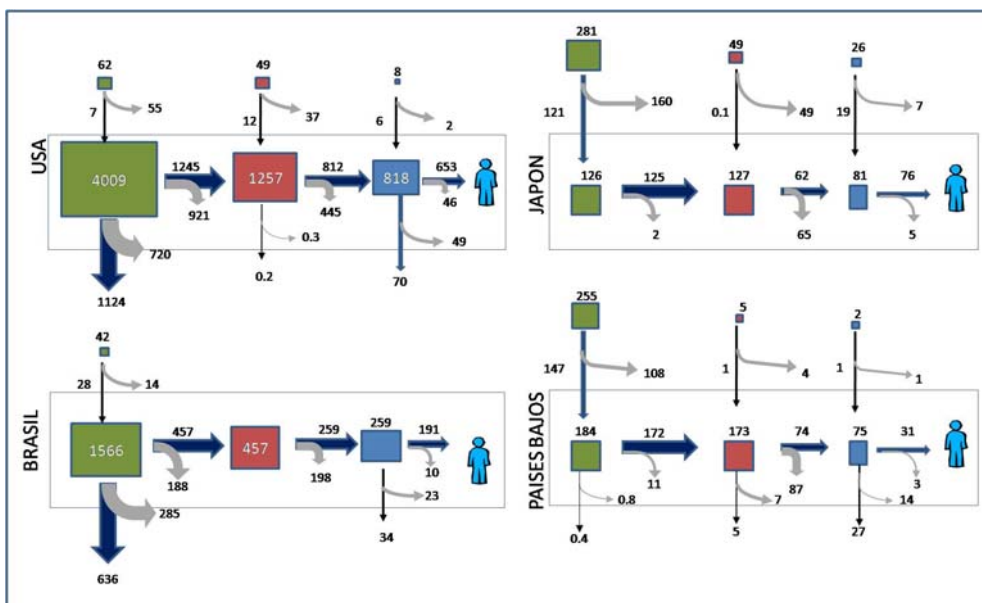
hidrolizará y será convertida fundamentalmente en formas de nitrógeno químicamente diferentes, con un impacto ambiental específico dependiendo tanto de la estrategia nutricional elegida como del diseño de las instalaciones, el manejo, almacenamiento y disposición de las deyecciones.

En consecuencia, la elección de una óptima dosis nutricional, dependiendo del ciclo y tipologías estabular y de las características arquitectónicas de las instalaciones nos aportaran un indicador adicional de ecoeficiencia. La proteína no asimilada, hidrolizada contiene una elevada carga orgánica (carbono soluble) y nutriente (normalmente nitrógeno en forma orgánica y mineral NTK-N-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), cuyo impacto económico es notorio, al estar físicamente presente en forma coloidal y suspendida en los purines. Al coste nutricional debido a la ineficiencia del proceso de conversión hay que sumarle el coste ambiental de la eliminación del nitrógeno que comporta un doble impacto al precisar de una fuente de energía, normalmente no renovable para denitrificar el nitrógeno amoniacal; p.e.: para depurar 5 kg/m<sup>3</sup> de N se precisan 4 Kwe/h y para producir un animal de 110 kg de peso vivo, que genera 1 m<sup>3</sup> de purín en el proceso de cría y engorde para ese peso, se precisan en términos de energía otros 1.000 litros de combustibles fósiles.

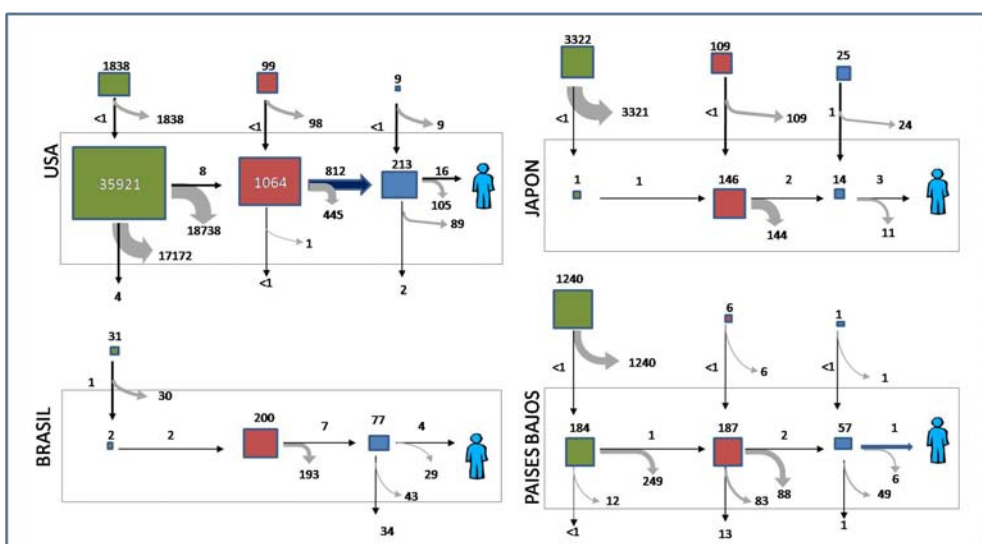
Los modelos de evaluación ambiental del impacto de la ganadería han sido muchos y variados, sobre todo a partir del año 2006 con la publicación de las metodologías del IPPC dependiendo de la tipología estabular, ciclo animal, geografía y clima. En aras a simplificar y facilitar la interpretación del trabajo, los autores remiten a los modelos de cálculos indicados en las referencias bibliográficas [17]. Como nota importante indicar cinco conceptos relevantes acerca del N-nitrógeno: 1º) N no reactivo es N<sub>2</sub> y constituye el 78% de la atmósfera del planeta, 2º) N reactivo es Nr en todos los compuestos biológica, química y físicamente activos en la atmósfera y biosfera del planeta, 3º) N se convierte de forma natural en Nr, fundamentalmente mediante la fijación biológica del nitrógeno, 4º) menos del 1% de los organismos vivos en el planeta son capaces de convertir el N<sub>2</sub> en Nr, el resto de organismos vivos son dependientes de los organismos nitrificadores y 5º) N se encuentra en una situación de suministro limitado en el planeta y es el macronutriente que limita la mayor parte de los ecosistemas terrestres de clima templado.

Del mismo modo la demanda energética de una instalación ganadera está íntimamente ligada a mantener unas condiciones ambientales adecuadas para los animales alojados en el interior, donde el control del ambiente y el confort térmico deben contribuir a alcanzar los objetivos veterinarios y zootécnicos de la explotación. La respuesta de los animales ante las variaciones ambientales y de temperatura tiene escaso margen y afecta tanto a las pautas de comportamiento, su expresión en forma de estrés y su impacto en la calidad del producto, su relación con el menor o mayor índice de conversión. Por estos motivos, el diseño constructivo y de instalaciones de los alojamientos zootécnicos del siglo XXI está condicionado tanto por el cálculo de las necesidades energéticas como de los consumos de las mismas. Diseño de aislamientos, tipología de techos y paredes y su estanqueidad, sistemas de ventilación, calefacción y refrigeración, de fosos de recogida de la deyecciones, sistemas de iluminación e implantación de buenas prácticas en el mantenimiento de todas las instalaciones (la mano de obra disponible y su adecuada cualificación es otra problemática añadida en ganadería), proporciona un subíndice indicador de relevancia del grado de ecoeficiencia [18].

La figura 9 ilustra a modo de gran resumen el sumatorio de los indicadores 2 y 3, su expresión de entradas y salidas del proceso productor en términos de volumen: agua virtual, contenido en nitrógeno y pérdidas de energía durante el proceso de cría y engorde de animales.



Las pérdidas y los flujos de nitrógeno asociados con la importación (entrada del “rectángulo-país” arriba), exportación (dejando el “rectángulo-país” en la parte inferior) de carne de pollo, carne de cerdo, y piensos. Los cuadrados en el interior (del “rectángulo-país”) representan tanto la producción nacional como el N asimilado que procede de las importaciones- p.e: representan la cantidad total de N que está presente en las diferentes etapas de la producción animal; verde = piensos, rojo = animales vivos, azul = procesamiento. Las flechas negras representan el N asimilado o contenido en productos nacionales consumidos y productos comercializados. Las flechas curvas grises representan el nitrógeno virtual. Los valores son totales anuales en miles de toneladas métricas, promediados a lo largo de los años 2000-2002. España para el período de referencia se sitúa en volúmenes del orden de 15% superiores al cálculo de los Países Bajos. Fuente: adaptado de J.Galloway y col (2007) [19].



Las pérdidas y los flujos de agua asociados con la importación, exportación, y la producción nacional de la carne de pollo, carne de porcino, y derivados. Los rectángulos, cuadrados, flechas y los colores son como en la figura anterior, con valores en millones de metros cúbicos. Fuente: adaptado de J.Galloway y col (2007) [20].

#### 4.1.4. Contrahuella

El concepto de contrahuella citado por J.L. Domenech [21], sirvió de base para la adaptación del indicador nro.4 y representa en términos de criterios de contabilidad ambiental el haber de la matriz de indicadores (recuérdese la figura 5).

Precisamos de un sistema de recogida objetiva de factores de contrahuella, entendidos tanto como partes como la suma de los indicadores nros.1, 2 y 3, bajo los mismos criterios. El desarrollo de propuestas para la recogida de información de factores de contrahuella supuso el desarrollo de un proyecto interno específico denominado "LabGem SELCO MC-UM" y que una vez cerrado, supuso el lanzamiento de una nueva línea de negocio permanente en DP desde nuestra organización a nuestros servicios externos, al tiempo que se constituía en una herramienta de trazabilidad total al estar basada sobre el material genético del propio producto (animal en vivo y/o en forma de producto elaborado).

El indicador de la contrahuella basado en las técnicas de la proteómica aporta en esencia el soporte para la contabilización como subindicadores de contrahuella del índice sanitario, animal (parental y racial), seguridad alimentaria y medioambiental. La determinación cuantitativa y cualitativa puede efectuarse en tiempo real mediante estimación de proteínas en fase agua (PFA) y/o microsatélites (MAP) [22].

### 5. Resultados y Discusión

En una Organización permanente gestionada en base a proyectos en entornos de madurez organizativa prestadora de Servicios de Ingeniería y de DP en todos los sectores de la zootecnia, desde la genética y cría de animales hasta la puesta a disposición del público de los productos transformados con destino a alimentación humana, se hace imprescindible identificar, medir y gestionar en base al impacto en términos de ecoeficiencia de todos los segmentos de la cadena de valor implicados desde la fase preliminar del anteproyecto.

El análisis de los resultados de cada uno de los indicadores (independientes o cómo sumatorio), a través de un indicador objetivo cual es el propio material genético nos proporciona un factor cualitativo y/o cuantitativo dependiendo de la necesidad para cada factor o magnitud de importancia del proyecto específico o programa de ellos.

Nuestros clientes estarán en condiciones de optar por un determinado grado de sostenibilidad en cualquier eslabón de la cadena de valor. Tanto como requisito interno a la hora de diseñar y ejecutar proyectos zootécnicos propios, que añadan poca o nula huella (utilizando p.e. un determinado proceso productivo y/o de tratamiento y valorización de sus residuos y subproductos, comprando "energía verde" o generando alternativas energéticas propias, sirva como ejemplo que solamente el aprovechamiento termoeléctrico vía digestión anaeróbica de los 90 millones anuales de purines y estiércoles generados en España el potencial energético supondría del orden de 1,5 Mtep ) como elemento diferenciador ante sus clientes, pudiendo adquirir estos productos con un grado de impacto de huella (poca o mucha) a través de marcas como alimentos diferenciados o con certificación por tercera parte.

Ciertamente el desarrollo e implantación de estas metodologías de indicadores, aportan tanto a la organización permanente gestionada en base a proyectos como a los proyectos y su dirección desarrollados para nuestros clientes, un elemento diferenciador en la prestación de nuestro servicios, basados en el rigor técnico y científico, con una correcta identificación de riesgos y oportunidades, de identificación y análisis de cada uno de ellos para cada proyecto, programa o cartera más fácilmente sostenibles, ecoeficientes y por ende rentables.



## Referencias

- [1] PNUD "Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008. La lucha contra el cambio climático: solidaridad frente a un mundo dividido". ISBN:978-84-8476-322-2. NY-USA-2007.
- [2] Intelligent Energy Europe: "Refuel Program: Eyes on the track, Mind on the horizon. A European road map for biofuels". Energy Research Centre of the Netherlands (ECN). March 2008.
- [3] NEXANT-NREL "Prospectus: Liquid Biofuels: substituting for petroleum. A global Techno-Economic and Market Evaluation". NY-USA-December 2006.
- [4] Martínez-Almela J. "Proyecto Visión Global: La integración ambiental de la producción ganadera intensiva y el reto de los residuos". I+D+I Ingeniería, Diseño e Innovación. La ciencia de creación de lo artificial. Revista de Proyectos de Ingeniería nro.2. Dpto. Proyectos de Ingeniería. ETSII-UPV. ISSN:1695-2421. Ref:2003.2444. Valencia, Mayo 2003.
- [5] Muñoz Luna A, Ramis Vidal G, Pallares Martinez F, Martínez-Almela J. "La producción de proteína animal (carnes, pescados, huevos y leche) en el siglo XXI: Un Nuevo Orden Zootécnico". X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Valencia 13-15 Septiembre 2006.
- [6] Martínez-Almela J y Barrera Marza J. "Selco-Ecopurin® technology for conversion of animal waste into added value products and energy. International Symposium on Animal, Agricultural and Food Processing and Wastes. Proceedings of ASAE. American Society of Agricultural Engineers, pag.204-212. ASAE Publication 701P1203. ISBN:1-892769-32-8. Research Triangle Park, Raleigh, North Carolina, USA 12-15 October 2003.
- [7] Martínez-Almela J y Barrera Marza J. "Selco-Ecopurin® pig slurry treatment system". Bioresource Technology, #96, pag.223-228. Ed. Elsevier [Science@Direct.2005](#).
- [8] OMC "Programa DOHA para el Desarrollo". Nota de la división de información y relaciones con los medios. Proyecto de texto revisado Embajador Crawford Falconer. Disponible en [http://www.wto.org/spanish/tratop\\_s/ag\\_modals\\_feb08\\_s.htm](http://www.wto.org/spanish/tratop_s/ag_modals_feb08_s.htm) (consultada el 22 Abril 2008).
- [9] Muñoz Luna A, Ramis Vidal G, Pallares Martinez J, Lorenzo Navarro M, Olucha Soler B, Barrera Marza J y Martínez-Almela J. "Modelos de Trazabilidad Molecular en Zootecnia". X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Valencia 13-15 Septiembre 2006.
- [10] AWP/NCSSU. North Carolina State University. Animal and poultry waste management center. C (Mike) Williams PhD. Director. "Development of Environmentally Superior Technologies: Phase #3 Report en [http://www.cals.ncsu.edu/waste\\_mgt/smithfield\\_projects](http://www.cals.ncsu.edu/waste_mgt/smithfield_projects) March 8, 2006.
- [11] Martínez-Almela J, Muñoz Luna A y Barrera Marza J: "Management manure and manure treatment plant: the farm school of Murcia university's veterinary science faculty (Spain)" Symposium state of the science animal manure and waste management. ASAE-CSREES/USDA multi-state committee S-1000. Animal manure and waste utilization, treatment and nuisance avoidance for a sustainable agriculture. San Antonio (Texas) US 5-7<sup>th</sup> of January, 2005.
- [12] Chambers N, Simmons C y Wackernagel M: "Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator for Sustainability" <http://www.ecologicalfootprint.com> Earthscan, London, UK, 2000.
- [13] The World Bank. "World Development Report 2007: Development and The Next Generation". ISBN 978-958-8307-06-0. Washington DC. USA, 2006.

- [14] Allan, J.A.: "Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible" en: Priorities for water resources allocation and management. ODA, London, pag.13-26. 1993.
- [15] Chapagain A.K y Hoekstra A.Y.: "Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international trade of livestock and livestock products" en Hoekstra (ed): "Virtual water trade: proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade", Value of Water Research Report Series #12, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands. 2003.
- [16] Kornegay E.T.: "Strategies to reduce nutrients excretion of swine". Virginia Polytechnic Institute.. En "Feed Facts, Vol.#8, Hog.#4, Virginia University. USA October, 1998.
- [17] IPPC, "Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability". Cambridge University Press, Cambridge NY, USA, 2007.
- [18] Muñoz Luna A y col: "Producir carne de cerdo en el siglo XXI, generando un Nuevo Orden Zootécnico". Título IV El Entorno Medioambiental. Capítulos XIV a XVII. Págs.278-362.Ed. Acalanthis. ISBN-13: 978-84-935067-2-8. Madrid, 2006.
- [19] Galloway J.N et al.: "International trade in meat: the tip of the pork chop". Ambio Vol.36, #8, Royal Swedish Academy of Science 2007. <http://www.ambio.kva.se> December, 2007.
- [20] Galloway J.N et al.: "The Nitrogen Cascade" en Bioscience # 53 Pag.341-356. 2003.
- [21] Domenech J.L.: "Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible". AENOR Ediciones 2007.
- [22] FAO-LEAD "Livestock's Long Shadow: environmental Issues and Options".ISBN 978-92-5-105571-7. FAO Rome, Italy 2006.

**Correspondencia** (Para más información contacte con):

Grupo de Investigación "Cría y Salud Animal E-058"

D. JESUS MARTINEZ-ALMELA, SELCO MC. Servicios Avanzados de Ingeniería  
Área de Desarrollo de Nuevas Tecnologías.  
Plaza de Tetuán, 16, 12001 Castellón, Spain  
Phone: +34 96 425 44 43  
Fax: 96 425 65 12  
E-mail: [jmtnezalmela@selco.net](mailto:jmtnezalmela@selco.net)  
URL: <http://www.selco.net>

Prof. Dr. ANTONIO MUÑOZ LUNA  
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL  
FACULTAD DE VETERINARIA  
UNIVERSIDAD DE MURCIA  
Campus de Espinardo, 30100  
Espinardo, Murcia, Spain  
Phone: +34 968 36 47 49  
Fax: + 34 968 36 41 47  
E-mail: [antmunoz@um.es](mailto:antmunoz@um.es)