

## **I. LA GANADERÍA DEL FUTURO. Del pasado al presente**

Ganadería de precisión, precision livestock farming 4.0, mecatrónica, electronic monitor, georeferencia, robotic

Fernando R. Feuchter A.

Centro Regional Universitario del Noroeste

Colima # 163 norte

Cd. Obregón Sonora, México

C.P. 85 000

Tel/Fax: 644) 4 13 71 71

feuchter57@yahoo.com

Hablar del futuro me remonta mentalmente a los programas de televisión en blanco y negro: Perdidos en el Espacio, Viaje a las Estrellas, Los Súper Sónicos y más programas que recuerden la infancia. Hoy se ven a color, digitales y disponibles en la web. El futuro es cosa del pasado, nos ha rondado varias veces por el mismo punto y todavía no hemos llegado a visualizarlo por completo. Pasó frente a nuestras narices y no lo vimos.

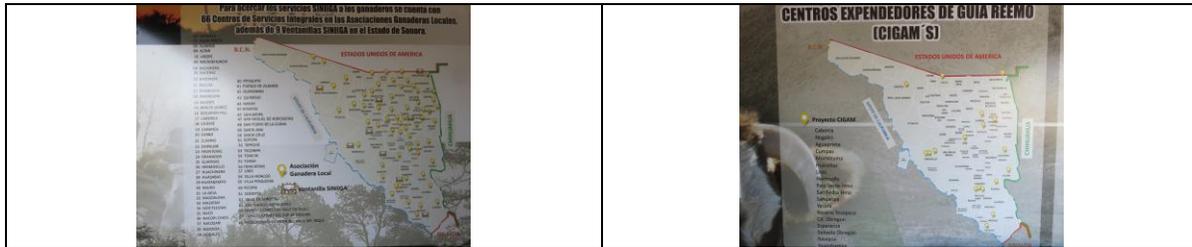
Hoy, en la agricultura es imprescindible modernizar un modelo agotado, para que en el inmediato futuro obtener una producción sostenible de alimentos ambientalmente amigable, sin huella ecológica en aras de lograr la seguridad alimentaria de la humanidad. Enfocar el desarrollo innovador con aplicaciones de equipos electrónicos digitales automáticos e inalámbricas, para lograr un crecimiento zootécnico eficiente con parámetros productivos que den certeza a las inversiones, reducción de riesgos de manejo, generar mano de obra laboral y profesional, para ser competitivos en el mercado global.

La ganadería es una agroindustria muy antigua que a través del tiempo ha avanzado lentamente ofreciendo resistencia a la innovación tecnológica existente. Berckmans y Guarino 2017 resaltan que los alimentos de origen animal son más accesibles en precio hoy en día que en el pasado. Lo que indica eficiencia tecnológica. Hartog y colaboradores 2017 resaltan que los granjeros europeos sí se interesan por aplicaciones modernas que sean rentables y durables, están abiertos al cambio tecnológico por lo que hacen falta granjas demostrativas y poder contratar asesores calificados para usar correctamente los servicios.

A principios de la década de los 80's, en establos lecheros se realizaron pruebas comerciales con sistemas automáticos de alimentación, colocándole collares imantados a las vacas. Los rendimientos se graficaban en papel. Durante el 2003 se trabajó este sistema de collares en gestaciones porcinas con servicios informáticos, las gráficas visuales o impresas ahora eran digitales en la pantalla de la computadora, para seleccionar remplazos. <https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1566&context=rtd>

En el 2007 se escribía sobre los sistemas agrónomos en la producción agropecuaria utilizando microfrecuencias <http://www.teorema.com.mx/tipsambientales/los-sistemas-agronicos-en-la-produccion-agropecuaria/>, se hicieron tesis sobre el tema <https://es.scribd.com/document/234289355/Agronica> y artículos utilizando códigos de

barras electrónicas en ganadería <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63612660005>, se habló de telemática en la industria porcina de carne <http://revistatelematica.cujae.edu.cu>. En su momento parecía que el concepto era utópico de primer mundo, que nadie los habría adoptado en México. Hoy en día la SAGARPA y la Unión Ganadera Regional de Sonora participan exitosamente con el programa Sistema Nacional de Identificación de Ganado (SINIIGA) para formar en la web el Registro Electrónico de Movilización (REEMO), toda una realidad moderna en funciones.



Los avances que se realizan en el mundo con la aplicación de tecnologías y nanotecnologías (concepto acuñado en 1974) agropecuarias probadas, unas generadas en la avicultura, otras de la porcicultura, lechería, ganadería, estudio de la fauna silvestre (mamíferos, aves, peces), acuicultura, agricultura, industria, medicina humana, ciudades y edificios inteligentes e incluso vienen de la aeronáutica, militar, robótica y espacial. Muchas de ellas actualmente en boga para la sociedad, denominadas inteligencia de las cosas, son pulseras, relojes, lentes, plumas, telas, carteras para medir la actividad humana, del hogar, vehículos, cámaras para servicios urbanos, tráfico vehicular, drenajes y auto generar electricidad en movimiento.

Frost y colaboradores 1997 hacen una reseña histórica de las técnicas integradas de monitoreo y control sistemático utilizadas en granja para obtener información relevante para maximizar la eficiencia productiva del animal e instalaciones. En 1990 se instalaron diversas fuentes generadoras de información en establos lecheros, granjas de cerdos y naves de pollos colectando input cuantitativo con sensores, cámaras, audífonos, lentes, base de datos, parámetros productivos, reportes científicos y amalgama de todos los datos para procesarlos en la computadora con resultados cuantitativos, lo que permiten al asesor visualizar recomendaciones, hacer comparaciones, tomar acciones, ofrecer asesoría, señalar alertas, para mejorar el proceso sostenible de la unidad de producción.

A través de los años siguientes, las acciones de investigación han sido múltiples y persistentes. Mejoramiento genético de progenitoras de remplazo del pie de cría detectando la desviación estándar de la media para seleccionar las primerizas ideales. En la engorda de pollos una computadora opera abanicos (temperatura, humedad, amonía), calentones, comederos (peso del alimento), luces, filtros, peso de los pollos. Para el establo lechero se mide automáticamente durante la ordeña la cantidad, calidad, temperatura y conductividad

de la leche e incluso la mastitis, salud, fertilidad, peso, estado reproductivo, actividad física, consumo de alimento concentrado del animal. Los identificadores ID collares en establos lecheros desde 1979, pasaron rápidamente a implantes con cánulas de microchips. Al salir de la ordeña, las vacas se pesan automáticamente cada día. El uso de podómetro en 1994, usado en el cuello o pata permite predecir el estro por la cantidad de movimiento físico. La mastitis se detecta con precisión automática de prevención en 1996 con un sensor de conductividad. El pesado y tara automáticos en pollos permitieron separar los animales pesados y el grupo de livianos. En cerdos en finalización, usando video cámaras se mide el área dorsal y se estima el peso vivo del animal sin ajetrear. En 1989 un acelerómetro medía con mayor certeza los movimientos que el podómetro, para 1993 se medía con telemetría implantada, posteriormente en 1995 con infrarrojos. En 1994 se utilizó un contador de la masticación de vacas en pastoreo.

Bewley 2018 indica que invertir en tecnología requiere de un estudio de factibilidad financiera. La lechería de precisión usa mucha información en tiempo real para la toma de decisiones zootécnicas y económicas, ya que los márgenes de utilidad son mínimos y cualquier mejora permite la competitividad a gran escala. Se busca maximizar la producción individual de cada vaca. Esto no excluye la intuición del asesor y del productor. La exposición que realiza Peyraud 2017 esquematiza tecnologías de la ganadería de precisión de diversas especies en confinamiento y vegetación. Señala las mejoras de la productividad laboral, asociación para el uso de sistemas electrónicos portables, autónomos y reactivos. Se sigue ampliando el conocimiento biológico y hay nuevas perspectivas a las aplicaciones tecnológicas.

La disciplina de bienestar animal surge en 1965, comenta Avilés 2018 que ofreciendo mayor espacio, confort a los animales para que puedan expresar sus actividades y comportamiento nato de la especie en producción. Mundialmente se ha avanzado exhaustivamente en la legislación que compete al desarrollo del bienestar animal en producción. Buller y equipo de apoyo 2018 motivan debates científicos para generar políticas sobre las necesidades que impidan la muerte de animales por sequía y sobrepastoreo. Mejorar el cuidado y trato de todo animal de granja.

La síntesis que realizó Feuchter 2018 del Foro Agro televisado, enuncia algunos de estos avances y aplicaciones sencillas vigentes, baratas y otras como recordatorio: Inteligencia artificial de monitoreo electrónico por toda la granja, controles ambientales de confort (calentones, enfriadores), iluminación que ahorran energía, reducción de contaminantes, separadores de orina de las excretas para reducir olores, tecnologías de aprovechamiento de energías verdes sostenibles (bioenergía (biodiesel, lagunas de biodigestión para producir gas metano, gas metano de nopal para producir electricidad, fermento de nopal para biogasolina), solar, eólica), usar desalinizadores de agua, buscar el no uso de antibióticos con especias de la herbolaria como promotores del crecimiento, enfocar la producción orgánica, granjas avícolas en libertad sin jaulas, aplicaciones

neumáticas de medicamentos sin jeringa, usar resistencias portátiles para calentar agua, asperjar ozono en salones cerrados de destete, dosificar medicamentos en agua, sanidad de ambiente con agua oxigenada, vinagre, ácido benzoico, invertir en tecnología de precisión para la producción, tecnologías exponenciales, mamparas que reducen aplastamientos de neonatos, solucionar la dosificación automática del alimento mediante aretes (nanochips) microelectrónicos, transporte fluido a distancia de alimento sólido, industrialización de alimento balanceado con precisión, formulaciones lácteas sustitutos de la lactancia, nutrición balanceada con requerimientos fisiológicos, la inclusión especializada de premezclas suplementarias con micro aditivos, eubióticos, fitogénicos, probióticos y prebióticos que otorguen mejores ganancias y no solo menor costo, prolificidad genética, secuencia DNA digital para reducir la variación de los animales de granja, biología sintética, edición del genoma, sanidad preventiva y correctiva, salud con vacunación activa y pasiva, mejoras a las buenas prácticas de manejo para el bienestar animal, castración no quirúrgica, sexado de pluma, aplicaciones de HACCP en la red de valor alimentaria, telecomunicaciones, cámaras de seguridad, mercadotecnia, agricultura por contrato, software, capacitación del personal de soporte y profesional, análisis de modelos bioeconómicos, metodologías administrativas ágiles como herramientas de producción, desarrollo sustentable, seguridad alimentaria, protección ambiental, inocuidad alimentaria, proceso de carnes en rastros TIF certificados, innovación tecnológica, transporte aéreo para caballos, pollitas y cerdos, control de datos masivos o Big Data, investigación básica y aplicada, mejorar la capacidad de académicos, educación en biotecnología, capacitación, entrenamiento, asistencia técnica, extensionismo, transferencia del conocimiento, medición de impactos socioeconómicos, análisis de negocio, mercados a futuro, aseguramiento ganadero, asesorar con información estadística o uso de datos digitales al productor, nuevas carreras agropecuarias que hagan uso de matemáticas, interpretación aplicada de información electrónica, que llevan a cabo los nuevos establecimientos de producción animal en construcción. En la Universidad se ofrecen cursos de imágenes de satélites para obtener información espacial mediante la precepción remota utilizando sensores ópticos (Landsat, Spot, Modis, Hiperespectrales) con software ENVI, ARCGIS, ARCVIEW, AutoCad.

En otros momentos, ya se ha mencionado con anterioridad en congresos y cursos de capacitación que para ser competitivos en el mercado global, un rancho de 500 vacas en agostadero debe manejarse con un solo vaquero, equipo solar o papalotes de bombeo con flotador y una carretilla con pala y biello (trinchador) para paja.

Negrete 2018 hace señalamientos más puntuales que iniciaron a mediados de los 70's con la ganadería de precisión o mecatrónica, usando herramientas como la robótica, procesadores y electrónicos. Enfatiza la relación suelo-planta-animal-ecosistema para eficientar la producción con menor impacto, mediante el uso de sensores miniaturizados inalámbricos, actuadores y controladores monitoreados numéricamente con tecnologías

computarizadas. Se analiza e interpreta la información multifactorial digital desde teléfonos inteligentes conectados a internet.

En Argentina el Dr. Aníbal Fernández Mayer propone una ganadería de precisión integrada a la sucesión familiar como empresa e inversión a largo plazo. [http://www.vetcomunicaciones.com.ar/uploadsarchivos/ganader\\_\\_a\\_de\\_precisi\\_\\_n\\_\\_es\\_posible...pdf](http://www.vetcomunicaciones.com.ar/uploadsarchivos/ganader__a_de_precisi__n__es_posible...pdf) Gorandi y colaboradores del INTA 2016 utilizan sistemas de posicionamiento global (GPS) o collares localizadores electrónicos en la web, mediante tecnologías de la información y comunicación (TICS) en bovinos y perros pastores con ovinos, estudiando la etología animal y sistemas de pastoreo extensivos y silvopastoriles, con muy buenos resultados. Otro trabajo del INTA en la Universidad de Michigan, utiliza drones que portan cámaras multiespectrales, que miden sistemáticamente en forma rápida la cantidad disponible de pasto en el potrero por Insua y Utsumi 2017 que buscan lograr el máximo aprovechamiento del forraje midiendo con luz infrarrojo que aporta datos de reflectancia de alta resolución a cada 6 cm. y un sistema de información geográfico (GIS) estimando la cantidad en un servidor disponible en [ww.pasturemeter.co.nz](http://ww.pasturemeter.co.nz). En un rebaño de ovinos di Virgilo, et al. 2018 obtuvieron datos mixtos con un acelerador tri-axial, magnetómetro, sensor de temperatura y un GPS para cuantificar el consumo diario, esfuerzo para buscar forraje, minimizar la intensidad del pastoreo conociendo el crecimiento de las plantas deseables, termorregulación, comportamientos de descansos, tiempos de alerta debido a riesgos de predadores y convivencia con fauna silvestre que ayude a su cuidado, conservación de los recursos naturales, partos, fechas óptimas de destete, comportamiento materno, reducir costos por errores de manejo.

Estudiando el comportamiento de bovinos en Italia Becciolini y Ponzetta 2018 cuantifican el pastoreo, rumia, descanso, caminar, alimentarse, con GPS y sensores del movimiento (GSM) para inferir en las prácticas de manejo que ayuden a una mayor producción. Un estudio similar realizado en España con toros de lidia en pastoreo por Lomillos y participantes 2017 utilizaron servicio de radio general de bolsillo (GPRS) detectando que el área de influencia para cada animal es de 56 hectáreas en una vegetación de encinos, con descanso nocturno de 7 horas, con gran actividad de locomoción antes del amanecer y al atardecer, con caminatas diarias de 3.15 kilómetros, intensificando el pastoreo de 7AM a 9PM dependiendo de la estación fría o del calor, pero el 88% de los animales dejan de comer a las 4-7PM, midiendo otras variables del bioritmo circadiano. Michael Rúa Franco de Cultura Empresarial de Colombia 2018 enfatiza la cultura empresarial moderna y dejar de improvisar en un mundo insostenible e insustentable. Es imprescindible generar información electrónica que se pueda usar fácilmente en la práctica. <https://culturaempresarialganadera.org/author/michaelruafranco/> Los corrales de engorda bovino en Brasil utilizan el detector bosch que clasifica automáticamente los pesos de los corrales de finalizado, con monitoreo e inteligencia artificial y el cambio de dietas que corresponde al peso individual de cada animal por grupos homogéneos. Ver videos



significado real y poder utilizarla comparativamente en análisis inteligentes de negocios, con predicciones interpretadas correctamente y así asesorar con acciones útiles a la producción, a los granjeros de diferentes establos. Una manera de empoderar al productor al uso de información digital. Augsten Kolaus 2018 workshop proceeding <https://edbticdt2018.at/downloads/edbt-icdt-ws2018.pdf> En Francia se ofrecen cursos virtuales de capacitación para motivar al productor a que avance en la adopción de tecnologías de precisión. Marcella Guarino 2017.

La Universidad Autónoma de Querétaro implementa su estudio para conocer la condición corporal. La Universidad de Veracruz maniobra un arete LifeMonitor para conocer la salud de los animales, su ganancia o pérdida de peso. En Irlanda utiliza un reconocimiento facial de las vacas de leche o de carne para detectar su estado de salud. En España mediante geolocalizadores se pretende mejorar la condición corporal y fertilidad del hato ganadero. <http://www.perulactea.com/2016/08/03/joven-mexicana-innova-con-arete-que-aumenta-productividad-ganadera/> Los ganaderos de Uruguay lideran la aplicación en campo de tecnologías de monitoreo automáticas, biosensores, e integran tecnologías de información y comunicación con el comportamiento, fisiología, digestión y del entorno del animal. [http://www.inia.org.uy/estaciones/la\\_estanzuela/actividades/documentos/soares\\_de\\_lima\\_analisis\\_economico\\_combinaciones\\_recria\\_terminacion.pdf](http://www.inia.org.uy/estaciones/la_estanzuela/actividades/documentos/soares_de_lima_analisis_economico_combinaciones_recria_terminacion.pdf)

En Sonora los corrales de engorda del Rancho El 17 avanzan en la aplicación integrada de registros monitoreados por computadora, In Situ, desde el campo. <http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/tic/12672-desarrollan-sistema-integrado-de-monitoreo-de-ganado-de-engorda>. En esta dinámica del análisis del Big Data están surgiendo aplicaciones por todo el mundo. [https://www.agronegocios.es/ovejas-y-corderos-monitorizados-en-la-granja-agm/#utm\\_source=rss&utm\\_medium=rss](https://www.agronegocios.es/ovejas-y-corderos-monitorizados-en-la-granja-agm/#utm_source=rss&utm_medium=rss)

Para determinar los hábitos de pastoreo de 22 vacas en libertad sin perturbación humana, selección de plantas deseables, consumo voluntario de forraje, hábitos de comportamiento, en un agostadero de selva baja caducifolia se realizaron tomas de video en vivo portados por animales (AVED). Ver videos <https://vimeo.com/charliedlr> por de la Rosa 2017 en conjunto con Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) área de protección de flora y fauna Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui del municipio de Álamos, Sonora, México.

La nanotecnología inalámbrica ha avanzado con collares que pueden muestrear la fisiología del animal, contar el consumo de alimento, actividad motora, rumia, temperatura, respiración, nivel de oxígeno sanguíneo, ritmo cardíaco, presión arterial y si hay alteraciones, intuir enfermedades, transmitiendo los datos a una estación portátil que las sube a la nube, cuantificando analíticamente así sus necesidades fisiológicas, etc. Costa 2018. Desde la tableta y mediante el GPS, el animal se puede arrear (chatear con él) mediante

impulsos suaves que lo guíen a la derecha e izquierda. Hay manejo automático de tractores agrícolas, robots para ordeña y rastros, bocinas para la música así como micrófonos para dejar recados y celulares que desplazan las radios y transmisores para no tener que buscar a alguien en la distancia.

En Australia con ovinos y cabras se avanza en la tecnificación para la toma de decisiones de reemplazos, trasquila, rotación de potreros, crías nacidos, destetes, engorda, enfermos, suplementos, vacunación, bebederos. [https://www.researchgate.net/publication/313443300\\_La\\_ganaderia\\_de\\_precision\\_en\\_el\\_sector\\_de\\_los\\_pequenos\\_rumiantes](https://www.researchgate.net/publication/313443300_La_ganaderia_de_precision_en_el_sector_de_los_pequenos_rumiantes). El estudio de tesis doctoral en España, Castro 2013 con 83 ovejas y 16 cabras lecheras usando termografía infrarroja para diagnosticar infecciones intramamarias y medir la acides del rumen y la temperatura corporal con bolos inalámbricos.

Una APP gratuita de teléfono inteligente para establos lecheros en Argentina ofrece predicciones de estrés de temperatura o golpe calórico. En Málaga España se realizaron en junio 2018 cien ponencias sobre innovación digital <https://smartagrifoodsummit.com/> A principio de noviembre del 2018 el Congreso Avícola en Georgia, EUA dará a conocer las tecnología que estarán en el mercado los próximos 3 años. Inteligencia artificial, robótica, sensores, realidad virtual, vacunas, iluminación, etc. Incluye blockchain (transacción en cadena enlazada de bloques digitales financieros independientes). <https://www.xataka.com/especiales/que-es-blockchain-la-explicacion-definitiva-para-la-tecnologia-mas-de-moda> Hay que ir dirá el interesado.

Si bien la idea de los drones voladores surgen durante la I Guerra Mundial en 1914. El refrán **Al Ojo del Amo Engorda el Ganado** se aplica muy bien. Ahora estos cobran popularidad al poder valorar la salud y condición corporal del ganado rumiante y equino durante el arreo, observar cojeras, localizar animales perdidos, estimar la cantidad de forraje de las praderas, inspeccionar la infraestructura con fotografía y vídeo aéreo en el espectro visible, con cámaras fotogramétricas o termografía aérea que mide la radiación electromagnética de los objetos en el rango del espectro ultra violeta con longitudes de onda (0.75  $\mu\text{m}$ -1mm) reflejado en éstos, visión nocturna, infrarrojo, 3G, 4G y 5G de banda, lidar, hiperspectral, procesando las imágenes. Levantamientos topográficos, mapeo del terreno, azolves, nivel de clorofila, estrés hídrico con apoyo de dendrómetro, fertilización, aplicaciones localizadas de agroquímicos, plagas, malezas, acceso a zonas peligrosas o de difícil acceso. <https://blogthinkbig.com/drones-para-pastorear-ganado>

S. Mark Rutter ampliamente sintetiza el capítulo 13 del libro acopiado por Ferguson 2018 comentando que las tecnologías de la información y los sensores individuales automáticos mejoran la eficiencia y utilización de fuentes de datos en los sistemas de producción animal reduciendo el factor de error humano en la toma de mediciones. La integración de los diferentes documentos (temperatura, nutrición, precios, pesos, edad,

sexo, etc) es analizado por un asesor profesional, que busca obtener un valor agregado a la calidad del producto a vender. En lechería un acelerómetro, un bioacústico (cuello, oreja o pata) o una cámara 3D por ejemplo, estiman la calidad de la leche, detecta los estros para inseminación artificial, segrega grupos de vacas por peso o período de lactación, consumo de alimento, tiempo de rumia, condición corporal, localización en el corral, signos de enfermedad o heridas. La robótica se aplica en la ordeña, en la limpieza de excretas, servicio al comedero y otros arreos. Norton y Berckman 2017 indican que la vaca de ordeña es uno de los animales de granja que es más longevo por lo que hay que conservar su salud física, fisiológica y productiva. Ello requiere mejorar las habilidades de manejo zootécnico del productor e incluso observar con prontitud anomalías del metabolismo del animal, ligando al unísono lo que sucede en corral, comedero, pasillo y en la sala de ordeño.

Para ovinos de carne lo importante es identificar individualmente a cada animal del rebaño en forma automática, diferenciándolo uno de otro por medio de identificadores electrónicos pasivos (EID-RFID) sin baterías. Para otros usos se emplea un EID activo con baterías. Pudiendo ser inyectables, intramuscular, encapsulados en vidrio, incorporados al arete de plástico, e incluso en bolos vía oral para que se queden en el retículo del rumen de caprinos, ovinos, vacas, reduciendo las posibilidades de robo. Cualquiera que sea la aplicación, cuidando el rescate del chip al momento del sacrificio. El uso de una plataforma o báscula de paso ligada al EID para estimar el peso de cada animal sin meterlo a la trampa, cortando a un lado los livianos y dejando pasar al nuevo corral a los animales pesados. Posicionar al animal en la computadora para detectar oportunamente el ataque de un carnívoro, seguir el movimiento del pastoreo, otros comportamientos más por explorar. El uso de cercos fijos de púas del siglo XIX y el cerco móvil de impulso eléctrico en uso desde 1930 requieren mano de obra. Un robot puede abrir la puerta para que los animales en pastoreo pasen al siguiente potrero en forma automatizada. Un audífono con ladridos caninos que se enciende al acercarse a una distancia determinada limita el área de pastoreo y se apaga al alejarse. Si lo cruza se aplican estímulos eléctricos para que regrese o se aleje.

Esto es tan solo la punta del iceberg, es como la cereza en el pastel, que parece inverosímil que se hayan hecho, pero si continuas leyendo quedarás perplejo por la transferencia de tecnologías que faltan por hacer y adoptar. No se puede descansar un día en los laureles referentes a la producción de alimentos, porque las innovaciones que dan competitividad económica se van generando muy rápido y tenemos que aprender a usarlas HOY, de lo contrario, si no adoptas la tecnología, te sacan del mercado. Esto no quiere decir que lo aprendido con anterioridad esté obsoleto, que la experiencia ganadera haya caducado. ¡No!, antes al contrario, el conocimiento aprendido antecede lo demás, lo nuevo es adicional, es innovador, es para adelante, es futurista, son tecnologías que ofrecen soluciones prácticas y económicas que no se deben dejar pasar otra vez, porque mejoran la eficiencia y competitividad y refuerzan la experiencia. La ignorancia te retrasa, el generar o

adoptar el manejo de equipos eficientes te posiciona. Que la transferencia de tecnología no se haga tarde.

## **II. Los avances de la investigación. Del pasado al futuro**

Ian Werkheiser 2018 alza la voz para señalar que éticamente el productor y empleados podrían incurrir en omisiones inherentes al bienestar animal, al perder esa identidad nata del granjero con los animales, por estar absortos en la aplicación de las tecnologías innovadoras que facilitan la precisión de la zootecnia. Dejar de hablar, observar y tocar al animal propio de la vocación. Stevenson 2018 apunta hacia un granjero involucrado a ser diestro en el uso de la tecnología y descuidando en tiempo y oportunidad las atenciones necesarias aplicadas al bienestar animal. La aplicación de la tecnología presionará al crecimiento de las unidades de producción confinadas que son económicamente más eficientes, pero utilizan granos y pastas que pueden alimentar personas, avances genéticos que minimizarán el comportamiento instintivo de los animales en libertad seleccionados al confinamiento y en consecuencia se agravan los problemas de enfermedades inherentes al manejo e instalaciones, aun cuando los sensores tecnológicos lo detecten oportunamente. El equilibrio (ni tanto que queme al santo, ni tanto que no lo alumbré) se puede impulsar en la producción orgánica extensiva de la cría de animales y el apoyo de la mecatrónica para mejorar su eficiencia.

Comentando la entrevista que realiza Feedinfo a Thomas Banhazi 2018 sobre los avances en sensores, receptores, software, digitalizadores, ordenadores de big data, análisis accesibles al asesor, algoritmos para interpretar las causas y efectos de lo que acontece en la granja. <https://marketing.feedinfo.com/interview-huge-challenges-remain-precision-livestock-farming-can-effect-transformative-change/> La implementación masiva de la alta tecnología no es un sueño, o tan solo buenas ideas, en realidad es innovación utilizada que está avanzando en la producción masiva de alimentos, pero todavía existen barreras psicológicas (sociales y educativas), tecnológicas (academia y capacidad de procesadores), inversionistas que adquieran nuevas herramientas, velocidad de comunicación electrónica inalámbrica para conectarse a la red y financieras para que sean aplicadas en todos los sistemas (bovino carne, leche, cerdo, ovino, caprino, equino, huevo, pollo, conejo, equino, apícola, fauna, cinegética, piscícola, camaronícola, ostrícola, etc.) y unidades de producción rurales alejadas de la ciudad.

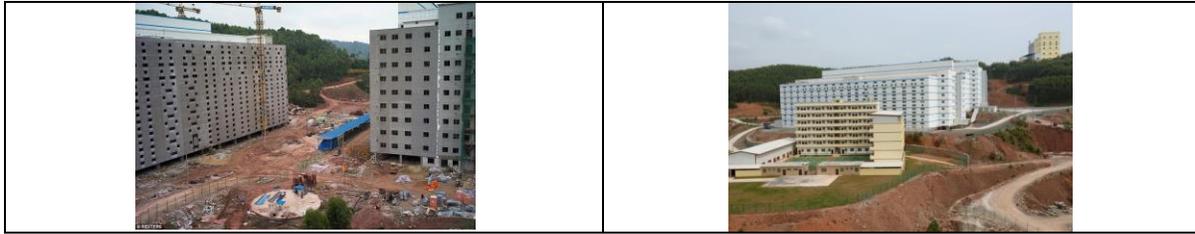
En 1989 se inyectaron instrumentos infrarrojos en la oreja de cerdos para medir la temperatura corporal, ritmo respiratorio, palpitations cardiacas. Aparecen los ultrasonidos para detectar preñez y grasa corporal, siguieron 1997 las imágenes de resonancia magnética en cerdos. Hay medidas tridimensionales, medición de peces en agua y pescados en banda sin error, robots en rastros. Narices olfatorias electrónicas 1982, también usadas como catador de vino, café, cerveza, leche, carne. Luego polímeros detectores del mal olor. En

1972 sonogramas en cerdos, detectar chillidos 1989 de lechones para reducir aplastados, 1984 la vocalización de aves de postura, todo en base a conocer más el conocimiento del comportamiento y bienestar animal, sin afectar la lectura por la presencia humana. [https://www.researchgate.net/publication/223950158\\_A\\_review\\_of\\_livestock\\_monitoring\\_and\\_the\\_need\\_for\\_integrated\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/223950158_A_review_of_livestock_monitoring_and_the_need_for_integrated_systems) De todos estos avances poco se ha adoptado comercialmente en forma general. La empresa que lleva la delantera en innovación tecnológica, en el comercio global va desplazando a las demás.

Daniel Berckmans 2017 señala que mundialmente existe un incremento en la demanda de productos alimenticios de origen animal, lo que ha estimulado el crecimiento concentrado de las unidades de producción en confinamiento y reducido el número de productores, lo que impide observar el comportamiento y ofrecer una atención individual a los animales. Es muy importante detectar problemas de crianza en el rastro TIF, pero es prioritario que no existan anomalías en el manejo y bienestar animal durante la crianza y crecimiento o en el pie de cría. Esto hace fehaciente la necesidad de contar con equipo digital (sensores en el edificio y al cuerpo del animal, audífonos, micrófonos, imágenes en tiempo real), para continuamente monitorear automáticamente 24/7 la salud de la granja, eliminar los riesgos de zoonosis, minimizar impacto ambiental, personalmente corregir inmediatamente las fallas, lograr parámetros productivos con certeza y valores rentables seguros. Establecer un vínculo con la sociedad urbana para que conozcan el trabajo rural.

La concentración de animales en confinamiento genera volúmenes de excrementos que son acopiados en áreas reducidas Wei 2018, et al., hace notar que las ciudades avanzan hacia las granjas rurales o las absorben, acercándose a potenciales focos de contaminación. Ello establece la aplicación de políticas de manejo de emisiones lo que obliga a las granjas a mejorar la conversión alimenticia, aplicación tecnológica en el manejo de las excretas y aprovechamiento integrado de los desechos.

Se crean las granjas avícolas de postura en confinamiento en los 60's, le siguen las porcinas en los 70's, posteriormente surge en 1990 la agricultura a escala de malla sombra e invernaderos, seguida de la siembra vertical en 1999 y en el 2015 adaptando este principio, la empresa porcina China Yangxian Guangxi, en 70 hectáreas construyó cuatro hoteles o naves de 8 pisos cada uno, diseñados zootécnicamente con infraestructura inteligente para su óptima funcionalidad y facilitar el manejo a los empleados y animales, con las mejores 1,000 mamparas cromadas por piso y equipos para albergar en cada edificio 7,500 hembras e integrar el manejo de 30,000 vientres en un sitio, movilizandolos en elevadores, ambientes controlados y comederos automáticos desde la planta de alimentos balanceados, para producir 840,000 cerdos anuales. <https://www.agweb.com/article/chinas-high-rise-hog-hotel-naa-sara-brown/> En el 2018, la empresa cuenta con 70,000 vientres en producción.



Si bien impresionante esta forma vertical de construir y de crecer en confinamiento, con grandes inversiones, no se compara con el advenimiento tecnológico que se presenta para la toma de decisiones.

Las granjas porcinas nuevas en EUA, han pasado los destetes de 12, 14, 16, 18, 20 días [https://www.youtube.com/watch?v=m5ckXvyf\\_lg](https://www.youtube.com/watch?v=m5ckXvyf_lg) a obtener lechones ideales de 28-30 días de edad. Las parideras son más grandes ofreciendo mayor espacio para los lechones, ya que las camadas son más numerosas y tienen períodos de lactancia más largos. Los pasillos son más anchos, la iluminación es LED, la ventilación ultra filtrada tiene presión positiva constante en toda la instalación. Las gestaciones ya no son individuales y pasan a corrales de 12 hembras agrupadas, aunque esto agrava la agresión de las cerdas con humanos e incrementa la variación de pesos de las gestantes. Los muertos se hacen comporta localmente, ya no hay entrada para el vehículo que dispensa los cadáveres. Todo lo que entra (medicinas, ropa, comida, etc.) pasa a una cámara de luz ultra violeta (UV) por 5 minutos mínimo. Las hembras de reemplazo que entran y los lechones destetados que salen, se limpian en salones de presión positiva. Los excrementos se hacen composta para la agricultura y las lagunas de digestión anaeróbicas producen metano para generar electricidad en un motor de combustión. Todo se controla, nada se desperdicia.

La presentación de Huerta 2018 resalta que los porcicultores de Chile obtienen 31.2 lechones destetados por hembra por año. Campo de acción para México que tiene un promedio nacional de 22.58 D/H/A. Hay mucho por hacer en manejo. Feuchter 2003 resalta que a pesar de los inventos en procesamiento de alimentos modernos en EUA y UE, en granja se debe recurrir localmente al conocimiento local autóctono para salvaguardar la salud de los bebés infantes utilizando esos remedios caseros aplicados a minimizar la mortalidad de los lechones. Existen técnicas de manejo zootécnico de la cerda y del lechón recién nacido Feuchter 2008 así como prácticas de alimentación para lograr destetes con lechones pesados Feuchter 2010, lográndose un mínimo de mortalidad.

Agerley 2018 con buen español hablado, expone los parámetros de Dinamarca, sin ser los mejores del mundo, pero un reto a seguir mundialmente porque existe un control de vigilancia electrónica de todos los antibióticos utilizados en granja y los MVZ no pueden vender medicamentos, ya que toda la información se envía a la Base de Datos Central 2000 disponible para todo el público. Se logran 2.35 camadas/H/A con un mínimo de lactación de 21 días ya que tan solo un 50% de los lechones están fisiológicamente preparados para

consumir alimento sólido, por lo que se extiende la lactación hasta 30 días y lograr pesos al destete de 6.3-7.4 kilos por lechón, con menos de 12% de mortalidad durante la lactancia. El 40% de los lechones mueren durante los 2 primeros días de nacido y a los 4 días se han registrado el 60% de las mortalidades. Casi siempre por hambre del lechón o frío, por lo que hay mucho campo de acción aquí. Es por poco consumo de calostro y no por falta de medicinas. Existe un cuello de botella que se debe trabajar. El lechón cuenta con una reserva energética de glucógeno cervical de tan solo 16 horas y la producción de leche mamaria (no del pezón) comienza después de 29-31 horas después del parto. El lechón debe consumir al menos 200-300 gramos de calostro para bajar la mortalidad del 10%. El lechón tendrá un crecimiento de 80-110 gramos durante las primeras 24 horas de nacido.

En el área de reproducción la cerda primeriza debe tener 7 meses de edad con 2-3 ciclos de celos previamente observados y un peso mínimo de 140 kilos en pie, con más de 34 semanas de edad para gestarse, con un espesor delgado de grasa dorsal 15-17 milímetros tienen 19.7 lechones nacidos, equivalentes a 18 lechones nacidos vivos. Deben ofrecer una lactación mínima de 28-30 días. En el segundo parto y posteriores aumenta 1.5 lechones más por camada. Con hembras adultas maduras se logran 23 lechones por parto.

La mortalidad durante el destete es menor al 5%. Obtener 24 cerdos finalizados al sacrificio por cada H/A equivale a 2750 kilos de carne vendida/H/A, pero si son 33 cerdos sacrificados serían 3800 Kg de carne. El proceso de engorda se inicia con 30 kg de peso para lograr una conversión alimenticia de 1.53-1.71 kg consumidos por kilo de peso vivo de aumento. La mortalidad es de 3.4-4% con una ganancia diaria de peso de 900-950 gramos. Hay en Dinamarca 2 preferencias de finalizado con animales jóvenes de 85 kilos a los 145 días con conversiones de 1.9-2.28 y de 115 kg al sacrificio con edad de 165 días con conversión de 2.62-2.68 kg de alimento. El consumo diario es de 2.4-2.5 kilos de alimento.

Con la infraestructura establecida en Dinamarca se aspira a destetar más de 1000 kg/jaula/año en la maternidad. Esto es 13 lechones/J \* 13 vueltas \* 6 Kg. Producir más de 500 kg de lechón por metro cuadrado por año en el destete. Esto es 3.3 lechones/m<sup>2</sup> \* 23 kg \* 6.5 vueltas. Superar los 500 kg de cerdo en engorda por m<sup>2</sup> por año. Esto es 1.42 cerdos/m<sup>2</sup> \* 88 kg \* 4 vueltas. Una granja de 5000 vientres en producción requiere 900 jaulas de maternidad para lograr 225 jaulas ocupadas en partos por semana.

Con cámaras 3D de vuelo colgado al techo y cámaras 2D fijas se logró observar en corraletas de lechones la posición o postura baja de la cola de las víctimas antes de un ataque de mordeduras e hiperactividad de los agresivos. Con esta advertencia se pueden hacer cambios multifactoriales en el manejo zootécnico de la corraleta para prevenir esos sangrados, heridas mutilantes e infecciones posteriores causadas por los cambios de temperamento de los cerditos. D'Eath 2018. Ello repercute posteriormente en otros parámetros productivos y económicos, tanto en el ánimo del personal por la frustración de curarlos.

Zheng et al. 2018 mide cuantitativamente el comportamiento animal de la pira en la sala de partos, con un sensor kinésico v2 automático que graba imágenes en la computadora, sin que se acerque a la maternidad la persona que monitorea, ya que puede afectar la postura natural de la cerda. Las posiciones y frecuencia de movimientos de la cerda son influenciadas por el diseño del piso de las mamparas de lactancia. Las hembras maternas se acuestan lentamente para eludir instintivamente el aplastamiento de lechones.

Se ha demostrado que las mediciones para la cría animal con instrumentos de precisión digitales en tiempo real, permiten aplicaciones reales en la solución y mejoras de prácticas de manejo Vranken y Berckmans 2017. Hay que aprender a leer electrónicamente el comportamiento animal como una manera directa de encadenar al productor con el cuidado individual de cada animal en crianza o pie de cría.

Las predicciones precisas en el peso final al mercado de los pollos de engorda inician desde la postura e incubadora <http://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2017/3/6-11-Ganaderia-precision-SA201703.pdf> No hay que esperar a que nazcan o a que lleguen al galpón o nave de engorda, todo se anticipa. Un robot inteligente Faromatics de España, suspendido en el techo monitorea múltiples parámetros ambientales y actividad física del galpón de pollos para prevenir anticipadamente brotes de enfermedades. Un análisis realizado en Brasil por Mollo 2009 para minimizar el estrés en el manejo de las aves utilizando instrumentos tecnológicos (granjas automáticas controlan alimento, iluminación, ventilación, aspersores, calentones) de la avicultura de precisión para reducir variaciones en peso final, permiten competir globalmente en el mercado mundial de exportación con la carne de pollo de engorda. Sassi y su grupo 2016 aplicaron sensores ambientales en la granja (ambientales, acústicos), midieron movimiento de las aves con acelerómetros, observaron parámetros fisiológicos, temperatura corporal, aplicaron tecnología de imágenes, flujos ópticos, contabilizaron picaduras de plumas, señalaron afectaciones locomotoras al caminar, análisis cinemáticos, se digitalizó con imágenes la termorregulación infrarroja de las aves, se infirió a los cambios metabólicos. Se crearon APPs con estadísticas y modelos matemáticos. Todo para probar científicamente y cumplir comercialmente con las especificaciones internacionales de estándares en bienestar animal criados sin estrés.

El uso de información en tiempo real es una herramienta de apoyo en la precisión de las aplicaciones de manejo zootécnico. Los errores por falta de datos se reflejan en la competitividad. Con reproductores la Identificación electrónica (EID) del comportamiento físico e interacciones de las aves, sistema de telemetría que mide la temperatura interna del ave que antecede enfermedades y control ambiental de la nave, con imágenes se estudia el comportamiento social de la nave y causas posibles de mortalidad de las aves, estudios de vocalización y muestras de confort, estudio espacial ambiental dentro y fuera de la granja relacionado con las emisiones de amonio dependientes de la humedad de la cama y posibles

flujos de enfermedades, corrientes de onda calor repentinas, medir la dureza o compactación de la cubierta de cama y daños en el andar y al postrar la pechuga.

Para aves de postura Xin y Liu 2017 indican que la tendencia de la avicultura de huevo es hacia la reducción de contaminantes con efecto de invernadero, eutróficas de suelo y agua, emisiones ácidas, manejo de alimento y conteo 350 huevos por ave por año y clasificación por tamaño de huevo. Han logrado un avance genético productivo como ninguna otra especie animal doméstica en producción. Conversión de 1.8-1.98 a 2.2 kg de alimento por 1 kilo de huevo. En pollos se logran 1.55 kg los primeros 30 días y en 1.75 kg de alimento por cada kilo de peso vivo a los 48 días. En cerdos 2.1 kg a los 102 kilos en pie y cerdos finalizados para jamón 170 kg consumen 3.0 kg de alimento. Los peces en acuicultura 2.0 kg de conversión alimenticia. Aunque rentables, sigue haciendo mucha falta las mediciones reales individuales, como la reducción de mortalidad, emisiones de polvo, canibalismo, malformaciones del esternón, daño de patas, control ambiental más uniforme en la jaula y en el galpón, salud y posiciones ergonómicas del trabajador. Se esperan mejores diseños de granjas y equipos con la información útil de estos sensores de precisión.

Se concluye que la investigación está vigente y no debe parar en desarrollar tecnologías innovadoras. Una vez que otros granjeros valoren la información digital y la comparen con sus granjas, las plantas de alimento balanceado hagan ajustes nutricionales por los cambios graficados, las empresas genéticas reproductoras de pie de cría refuercen su selección con datos del campo, se entienda la salud general del hato sin antibióticos e individual sin medicamentos se harán ajustes ambientales y de manejo zootécnico, los consultores harán interpretaciones fieles del mar de datos, los rastros harán seguimiento a cada granja, los supermercados activen la red fría y HACCP y el consumidor final entienda lo delicado del proceso de la cadena alimenticia y valore el producto que adquiere. Ello permitirá dar pasos agigantados, de crecimiento exponencial para mejorar la conversión alimenticia, ahorrar energía, modernizar el diseño de las granjas confortables, reducir enfermedades, bajar costos, dejar libertad de movimiento al expresar sus instintos propios del comportamiento animal, aprecio del personal laboral, técnico, administrativo y profesional; siempre serán bienvenidas estas innovaciones tecnológicas. Se requiere la participación de los productores, empresas agropecuarias, universidades, centros de investigación, comercializadores, instituciones de apoyo a la creatividad, desarrollo de innovaciones e investigaciones aplicadas y todos los que participan en la red de valor. La competitividad económica global de la producción de alimentos de origen animal nos compete a todos.

\*Fotografías de apoyo son de uso reservado y se encuentran en los artículos originales.

## BIBLIOGRAFÍA

Agerley Michael DVM 2018. Manejo de la hembra hiperprolífica. Junio. Visión Porcina. Svine Vet.

Augsten N. Kolaus 2018. Proceeding of the workshop of the EDBT/ICDT. University of Salzburg. Vienna Austria 26 marzo. <https://edbticdt2018.at/downloads/edbt-icdt-ws2018.pdf>

Aviles EDF, Montero MA, Zurita VH, Barros RM. 2018. Animal welfare and poultry productivity: A short review. *Tropical and Subtropical Agro Ecosystems*. 21; 114-123.

Barker ZE., Vazquez DJA., Codling EA., et al. 2016. Use of novel sensors combining local positioning and acceleration to measure feeding behavior differences associated with lameness in dairy cattle. *J. Dairy Sc.* 101:1-12

Becciolini V., Ponzetta M.P. 2018. Inferring behavior of grazing livestock: Opportunities from GPS telemetry and activity sensors applied to animal husbandry. University of Florence, Italy. DOI: 10.22616/ERDev2018.17.N202

Berckmans Daniel 2017. General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, Volume 7, Issue 1, 1 January 2017, Pages 6–11, <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>

Berckmans D., Guarino M. 2017. Precision livestock farming for the global livestock sector. *Animal Frontiers*, Volume 7, Issue 1, 1 January 2017, Pages 4–5, <https://doi.org/10.2527/af.2017.0101>

Bewley Jeffrey. 2018. Precision dairy farming advances analysis solutions for future profitability. University of Kentucky. <http://precisiondairy.com/proceedings/s1bewley.pdf>

Buller H., Blokhuis H., Jensen P. y Keeling L. 2018. Towards farm animal welfare and sustainability. *Animals Journal*, 8, 81; doi:10.3390/ani8060081

Castro Costa Andreia 2013. Aplicación de termografía infraroja y de sensores de pH y temperatura en rumiantes. Tesis doctoral. Universidad Autónoma Barcelona.

Costa D. dos S., Turco S.H.N., Ramos R.P. et al 2018. Electronic monitoring system for measuring heart rate and skin temperature in small ruminants. *Enhengaria Agricola V39*, Núm 2, pp. 166-172.

D'Eath RB, Jack M, Futro A, Talbot D, Zhu Q, Barclay D, et al. 2018. Automatic early warning of tail biting in pigs: 3D cameras can detect lowered tail posture before an outbreak. *PLoS ONE* 13(4):e0194524. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194524>

Di Virgilio, et al. 2018. Multi-dimensional precision livestock farming: a potential toolbox for sustainable rangeland management. *PeerJ* 6:e4867; DOI 10.7717/peerj.4867

Ferguson Drewe, Lee C., Fisher A. 2018 Advances in sheep welfare. Capítulo XIII por S. Mark Rutter *Advanced livestock management solutions*. Pág. 245

Feuchter, A.F.R. 2018. Diagnóstico 2018 de la ganadería en Sonora. <https://www.inforural.com.mx/diagnostico-2018-de-la-ganaderia-en-sonora/>

Feuchter Astiazarán Fernando Roberto 2003. A review of the nutrition and growth of suckling pigs by providing creep-feeding supplements to reduce piglet mortality and minimize post-weaning syndrome. <https://archive.is/ApPv>

Feuchter A.F.R. 2010. Destetes de lechones a los 21 días. Comparar tecnologías 5 kilos VS 10 kilos. *Sonora Ganadera* No. 18 septiembre Pp. 21-25.

Feuchter A.F.R. 2008. La Gestación y genética porcícola. *Sonora Ganadera* No. 9 septiembre Pp 13-14.

Frost A.R., Schofield C.P., et al. 1997. A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. *Computers and Electronics in Agriculture*. Núm. 17 pp. 139-159.

Gonella M.N., Silnik A.A., Kiessling R. 2016. Sistema de parcelas virtuales y alerta de proximidad, aplicada a la ganadería. <https://www.researchgate.net/publication/316515858>

Gorandi E.R., Moltoni A.F., Clemares N. 2016. Desarrollo y Evaluación de un sistema de monitoreo animal georreferenciado para ganadería de precisión. <https://www.researchgate.net/publication/316478235>

Guarino M., Norton T., et al. 2017. A blue print for developing and applying precision livestock farming tools: A key output of the EU-PLF project. *Animal Frontiers*, Volume 7, Issue 1, 1 January 2017, Pages 12–17, <https://doi.org/10.2527/af.2017.0103>

Hartong J., Banhazi T., Vranken E., Guariano M. 2017. European farmers' experiences with precision livestock farming systems. *Animal Frontiers*, Vol 7, Issue 1, 1 Jan 2017, Pag 45, <https://doi.org/10.2527/af.2017.0108>

Huerta Alva Oscar Fernando 2018. ¿Estás llegando a los objetivos? *Visión Porcina*. Consultoría en producción porcina OH.

Insúa JR, Utsumi S. 2017. Nuevas tecnologías para el monitoreo de pasturas. INTA Argentina. Michigan State University.

Kentucky and Minnesota Universities. 2017. Conference on precision dairy farming. 30 mayo.

Kovacic Ilko, et al. 2018. Guided query composition with somantic OLAP patterns. Linz, Austria. Pp. 64-74

Lomillos Péres JM, Alonso de la Vega ME, García JJ, Gaudioso Lacasa VR. 2017. Monitoring lidia cattle with GPS-GPRS technology; a study on grazing behavior and spatial distribution. Ww.veterinariamexico.unam.mx Octubre-Diciembre  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21753/vmoa.4.4.405>

Mollo MN, Vendrametto O, Okano MT. 2009. Precision livestock tools to improve products and processes in broiler production: A review. Brazilian Journal of Poultry Science. ISSN 1516-635X octubre-diciembre V11 N4 pp. 211-218

Negrete Jaime Cuauhtémoc 2018. Ganadería de precisión. <http://2000agro.com.mx/R/d12/files/assets/common/downloads/publication.pdf?uni=e992b41f07d9740c825f9f1686cd7cf8> Pág. 16.

Norton T., Beckmans D. 2017. Developing precision livestock farming tools for precision dairy farming. *Animal Frontiers*, Volume 7, Issue 1, 1 January 2017, Pages. 18–23, <https://doi.org/10.2527/af.2017.0104>

De la Rosa Carlos A. 2017. An inexpensive and open source method to study large terrestrial animal diet and behavior using time-laps video and GPS. Artículo 1 de tres para obtener el diploma de PhD por la Universidad de California Los Angeles.

Peyraud Jean Louis 2017. Precision livestock farming into practice. European Animal Task Force.

Sassi Neila Ben, Averós Xavier, Estevez Inma 2016. Technology and poultry welfare. *Animals J.* 6, 62; doi:10.3390/ani6100062

Schuetz, CG., Schausberger S., Schrefl M. 2018. Building an active data warehouse for precision dairy farming. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce.* 28:2, 122-141. <https://doi.org/10.1080/10919392.2018.1444344>

Stevenson P. 2018. Precision livestock farming: Could it drive the livestock sector in the wrong direction?

Vranken Erick, Berckmans Dries 2017. Precision livestock farming for pigs. *Animal Frontiers*, Volume 7, Issue 1, 1 January 2017, Pages 32–37, <https://doi.org/10.2527/af.2017.0106>

Wei S, Bai ZH, Chadwick D, et al. 2018. Greenhouse gas and ammonia emissions and mitigation options from livestock production in peri-urban agriculture: Beijing a case study. *Journal of Cleaner Production* 178: 515-525.

Werkheiser Ian 2018. Precision livestock farming and farmer's duties to livestock. Journal of Agricultural and Environmental Ethics. April, Vol. 31, Issue 2, pp. 181-195.

Xin Hongwei, Liu Kai. 2017. Precision livestock farming in egg production. Egg Industry center. Iowa State University. <https://academic.oup.com/af/article/7/1/24/4638767>

Zheng, C., Zhu, X., Yueju Xue. 2018. Automatic recognition of lactating sow postures from depth images by deep learning detector. Computers and Electronics in Agriculture. April, Vol. 147, pp. 51-62.