



# Problemática en la medición de variables ambientales *en explotaciones porcinas*

**Manuel Ramiro Rodríguez.** Profesor Titular de Universidad. Universidad de Santiago de Compostela

**María Dolores Fernández.** Profesora Titular de Universidad. Universidad de Santiago de Compostela.

**Juan Antonio Ortega.** Ingeniero Agrónomo. Universidad de Santiago de Compostela.

**Tamara Arango López.** Ingeniera Agrónoma. Universidad de Santiago de Compostela.

**Cristina Fernández.** Licenciada en Veterinaria. Agrocesa. Aldeamayor de San Martín. Valladolid.

Grupo de Investigación Energía y Mecanización Agroforestal (GI-1720) de la Universidad de Santiago de Compostela.

## Sumario

El objetivo de este trabajo es definir los problemas en la medición de las variables ambientales fundamentales para el bienestar animal, temperatura, humedad y concentraciones de  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$ . Se ha realizado la medición continua de estas variables en distintos puntos de un alojamiento para la producción de lechones de 6 a 20 kg de p.v., lo cual además ha permitido comprender su evolución y relacionarlas entre sí. Los sensores de temperatura y concentración de  $\text{CO}_2$  han sido los equipos con mayor duración y fiabilidad. La medición continua de  $\text{NH}_3$  con sensores electroquímicos no se considera viable en la explotación como variable de control por el coste de los equipos, la reposición y el calibrado que requieren. Los sensores deben ins-

talarse fuera de la zona animal y los equipos de adquisición de datos fuera del alojamiento. El empleo de conexiones rápidas junto a la disponibilidad de sensores en reserva es indispensable para el buen funcionamiento de las instalaciones.

## Palabras clave:

porcino, control ambiental, amoníaco, temperatura, humedad.

## Introducción

La ganadería intensiva trata de proporcionar un ambiente óptimo a los animales, de manera que su productividad sea también óptima. El control ambiental es uno de los elementos que permite

mejorar la calidad ambiental, lo cual repercute en un buen estado sanitario de los animales y en un índice de conversión adecuado. Para ello es necesario proporcionar condiciones adecuadas de temperatura, humedad y concentraciones de gases, entre los que destacan el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{NH}_3$ . Estas condiciones se proporcionan mediante las instalaciones de ventilación y calefacción que implementan los procesos productivos, concretamente la cría de lechones de 6 a 20 kg de p.v. Convencionalmente, el funcionamiento de los equipos de climatización se rige por la variable temperatura, que es la que determina la zona termo-neutra de los animales; es decir, el rango de temperaturas en el cual el animal no emplea energía para calentarse o refrigerarse. Sin embargo, el empleo de esta única variable da lugar a un control deficiente de las concentraciones de humedad, de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{NH}_3$ . La inclusión de variables como la humedad (Soldatos *et al.*, 2005), la concentración de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{NH}_3$  (Haeussermann *et al.*, 2005; Banhazi *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2008) son de creciente interés por su importancia (Oliveira *et al.*, 1997; Wellock *et al.*, 2003) y deben ser incorporadas a la automatización, especialmente si se pretende reducir la emisión de estos contaminantes atmosféricos. Estas variables, dependientes del funcionamiento de las instalaciones de climatización, son fundamentales para el bienestar y el estado sanitario de los animales.

En vista de que un sistema de control ambiental bien diseñado es la herramienta más eficiente para asegurar producciones óptimas en alojamientos ganaderos (Parsons *et al.*, 2007; Garcimartin *et al.*, 2007), se hace necesario aplicar estrategias de control ambiental para conseguir el máximo rendimiento con el mínimo consumo de recursos, con especial atención al bienestar animal y a la eficiencia energética y productiva de las explotaciones. El control de las instalaciones de climatización es complejo debido tanto a la incidencia sobre distintas variables, como a la interacción entre ellas. El sistema de calefacción proporciona calor al alojamiento. Mientras el sistema de ventilación tiene como función la extracción del exceso de calor, humedad y gases tóxicos. La activación de la calefacción supone un incremento de temperatura, lo cual trae consigo un aumento de la humedad ambiental. Esto puede conllevar la activación del sistema de ventilación para extraer el exceso de humedad, lo que simultáneamente produce una extracción de calor del alojamiento. Como consecuencia, el calor introducido mediante la calefacción podría “malgastarse” mediante el sistema de ventilación, lo cual produce consumos excesivos y un aumento de costes.



Si se pretende controlar el ambiente del local de forma eficiente tanto energética como económicamente, el funcionamiento de las instalaciones debe ser bien manejado, evitando los conflictos entre ellas. Por otra parte un ambiente adecuado para los animales requiere un control de las concentraciones de humedad,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , y otros gases, que convencionalmente no se miden, ya que se basa únicamente en la temperatura y se desconoce su interacción con el resto de variables implicadas. El control de la humedad del aire es un factor importante que determina las pérdidas de energía por ventilación por lo que es importante optimizar (Guo *et al.*, 2001). El manejo óptimo de la calidad del aire en una estabulación porcina, es indispensable para prevenir la transmisión de enfermedades respiratorias a operarios y animales (Kim *et al.*, 2005; Ni *et al.*, 2009).

El conocimiento de la relación entre las variables mencionadas es fundamental para un control de las instalaciones de climatización efectivo y eficiente; es decir, capaz de mantener las condiciones óptimas con el mínimo consumo posible. Por tanto la medición de temperatura y humedad además de concentraciones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_3$  es fundamental como primer paso para el establecimiento de relaciones entre ellas. Esto posibilita el conocimiento de la relación entre las variables, lo cual minimizaría el número de sensores a introducir para el gobierno de las instalaciones, sabiendo en cada momento el valor de todas ellas. Diversos trabajos estudiaron modelos de predicción de la concentración de  $\text{CO}_2$  en alojamientos ganaderos (Vantklooster y Heitlager, 1994) y de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$  y PM<sub>10</sub> mediante redes neuronales en porcino (Sun *et al.*, 2008), lo que se relaciona con estrategias de reducción de la concentración de  $\text{CH}_4$  y  $\text{NO}_2$  (Monteny *et al.*, 2006) y  $\text{NH}_3$  (Hamelin *et al.*, 2010) y algoritmos para control del  $\text{NH}_3$  con ventilación (Vranken *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2008).



La medición de variables ambientales en explotaciones ganaderas es cara y compleja. En primer lugar el gran número de variables a medir supone un esfuerzo para la instalación de los sensores por unidad de control, que en el caso de lechoneras o parideras hay que multiplicar por un gran número de salas. En segundo lugar, es muy importante definir la posición donde se deben realizar las mediciones, puesto que existe variabilidad en función de la posición. Normalmente, las zonas de entrada de aire presentan menor temperatura y menores concentraciones de gases, mientras que el aire en la zona de salida es más caliente y está más cargado de contaminantes. El  $\text{CO}_2$  es un gas más pesado que el aire, por tanto tiende a acumularse en la zona inferior, más próxima al animal. Al contrario, el  $\text{NH}_3$  es muy volátil, por lo que las mayores concentraciones se encuentran en la zona superior. Además, el ambiente de las explotaciones ganaderas es agresivo y esto condiciona la elección de los sensores y los elementos de protección necesarios para su conservación lo cual incrementa el coste. Asimismo la duración de los equipos está afectada por el ambiente, por lo que se ha de tener en cuenta la sustitución de los mismos en caso de fallo, revisión, sustitución de sensores y calibración.

Dado el interés del conocimiento de los valores de las variables ambientales fundamentales para el bienestar animal, temperatura, humedad y concentraciones de  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$ , se plantea como objetivo de este trabajo definir los problemas en su medición. Para ello se ha realizado la medición continua de estas variables en distintos puntos de un alojamiento para la producción de lechones de 6 a 20 kg de p.v., lo cual ha permitido, además, comprender su evolución y relacionarlas entre sí.

### Material y métodos

Este trabajo se ha llevado a cabo en Exporgondo, S.A., una granja porcina de producción de lechones de 6 a 20 kg de peso vivo, con un censo autorizado

de 4.895 madres. Se encuentra emplazada en la parroquia de Vizoño, en el Ayuntamiento de Abegado (A Coruña). La sala donde se encuentran ubicados las instalaciones y los equipos de medida se encuentra emplazada en la nave de destete de la explotación. Tiene unas dimensiones interiores de 12,00x5,86 m, con una altura interior a cumbre de 2,40 m. La sala dispone de 6 corrales a cada lado del pasillo central con una capacidad total de 300 lechones. Los equipos de climatización instalados son las placas calefactoras de agua caliente en cada uno de los corrales y un ventilador.

El diseño experimental permitió medir las variables ambientales asociadas al confort de los animales en tres ubicaciones, a la entrada de aire a la sala, en la zona del animal y a la salida del aire de la sala. Las variables medidas fueron: (1) temperatura, (2) humedad relativa, (3) concentración de  $\text{CO}_2$  y (4) concentración de  $\text{NH}_3$ . La medida de variables en la zona animal se realizó a 30 cm de altura sobre el slat, en un corral central. Además se realizaron mediciones de temperatura ambiental sobre los ejes longitudinal y transversal, en la parte central de cada uno de los corrales de la sala, lo cual ha permitido conocer la distribución de temperaturas en el alojamiento. La altura de instalación de 100 cm sobre el slat coincide con la empleada para las sondas de temperatura de las que dispone la explotación para el control de los equipos de climatización.

Los sensores que se emplearon para las mediciones fueron en las zonas de entrada de aire, animal y salida fueron (Figuras 1 y 2):

- Humedad y temperatura: sondas S-THB-008 (Onset Computer Corporation).
- Concentración de  $\text{CO}_2$ : sensor modelo HD37BTV.1 (Delta Ohm), rango de medición: 0–5000 ppm
- Concentración de  $\text{NH}_3$ : sensor electroquímico, rango de medición: 0–50 ppm.

Para conocer la distribución de temperaturas en el local se emplearon termorresistores, sondas 107 (Campbell Scientific Ltd.). Los datos registrados se almacenaron en dos tipos de colectores, CR-10X (Campbell Scientific Ltd.) para las temperaturas y HOBO H-22 (Onset Computer Corporation) para los demás sensores (Figura 3). Además se registraron datos de condiciones ambientales exteriores mediante una estación meteorológica EIC Control U-30 (Onset Computer Corporation). Todas estas va-

riables se han leído cada segundo, registrando su media cada 10 minutos.

## Resultados y discusión

### Ambiente en el interior del alojamiento

Los datos medidos han proporcionado valores de las variables durante el período comprendido desde octubre del 2011 hasta mediados de julio de 2012, para un total de 6 ciclos de cría de lechones con una duración media de 42 días. Durante este período las temperaturas medias en cada ciclo oscilaron entre 8,7 y 15,8° C.

La temperatura medida en la zona animal proporcionó valores medios por ciclo entre 26,1 y 27,8° C. Estos valores están dentro de los recomendados según la *tabla 1*, para distintos pesos de los animales. En ningún caso se han detectado mínimas inferiores a las recomendadas, mientras que, en ocasiones puntuales, se han sobrepasado los valores máximos. Por tanto, el régimen térmico ha sido adecuado, lo cual es consecuencia del empleo de sondas de temperatura para el control de las instalaciones de climatización.

Los valores de humedad relativa de la zona de entrada de aire son inferiores a los de salida. En la zona animal se detectaron los valores de humedad relativa más altos, lo cual resulta razonable, puesto que es ahí donde se produce la humedad por la respiración de los animales y la evaporación procedente de las deyecciones. Los valores medios por ciclo de humedad relativa en la zona de animal oscilaron entre 54,9 y 100%. A pesar de que el régimen térmico fue adecuado, en cuatro de los ciclos los valores en la zona animal superaron las recomendaciones, que para cerdo en cebo oscilan entre 50% y 75%. Sin embargo en la zona de entrada de aire, siempre se mantuvieron los valores dentro de lo recomendado y en la zona de salida de aire las recomendaciones se superaron en tres de los seis ciclos. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de la introducción de sensores de humedad para el control de las instalaciones de climatización.

La evolución de la concentración de CO<sub>2</sub> es pareja a la de la humedad relativa. La concentración en el aire de entrada fue la menor, muy próxima a los valores del ambiente exterior, seguida por la del aire de salida. Finalmente la mayor concentración se registró en la zona animal, debido a la respiración y a los procesos de descomposición del purín. Si bien la concentración media de CO<sub>2</sub> se adapta a las re-

**Tabla 1.** Recomendaciones de temperatura en función del peso del animal. Fuente: Forcada et al., 2009

Peso (kg)	Temperatura (°C)		
	Media	Máxima	Mínima
5-7	25	30	28
8-15	22	28	25
16-25	22	26	17

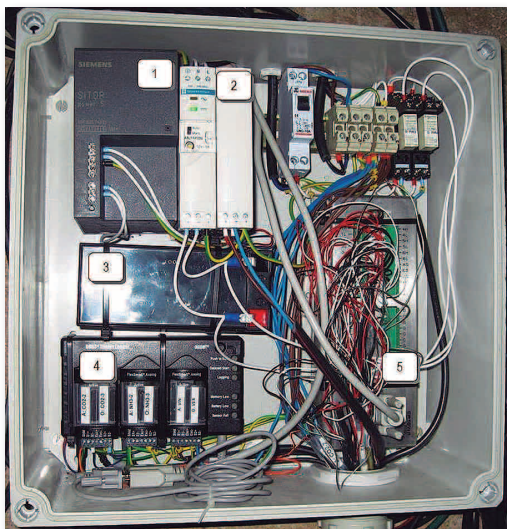


**Figura 1.** Recomendaciones de temperatura en función del peso del animal. Fuente: Forcada et al., 2009



**Figura 2.** Sensores de NH<sub>3</sub>, temperatura y humedad y CO<sub>2</sub> instalados en la zona animal con su protección.

comendaciones del CIGR (2002) no superando las 3000 ppm, los valores máximos si superaron este valor en distintas ocasiones. La concentración de CO<sub>2</sub> de la zona animal superó el valor de 3000 ppm en más de un 10% del tiempo en cuatro ciclos de



**Figura 3.** Cuadro para equipos de adquisición de datos instalados en el interior del alojamiento: (1) fuente de alimentación de 24 Vcc, (2) fuente de alimentación de 12 Vcc, (3) batería de 12 V, (4) colector de datos HOBO H-22 y (5) colector de datos Campbell Sci CR10.

un total de seis. En estos ciclos además fueron los mismos donde se superaron los valores medios de humedad, lo cual confirma el paralelismo entre el comportamiento de ambas variables.

Los datos registrados por los sensores de  $\text{NH}_3$  no han sido suficientes para caracterizar esta variable en el alojamiento. Los sensores de temperatura y concentración de  $\text{CO}_2$  han sido los equipos con mayor duración y fiabilidad, por lo que deberían ser empleados como base para la estimación de otras variables ambientales y cuya medición resulta más compleja y cara. De este modo las variables de mayor interés podrían ser introducidas en el control de forma indirecta. Por tanto se hace necesario el estudio de las interacciones entre las distintas variables, lo cual va a proporcionar una herramienta de gran utilidad para el ganadero.

### Dificultades en la medición

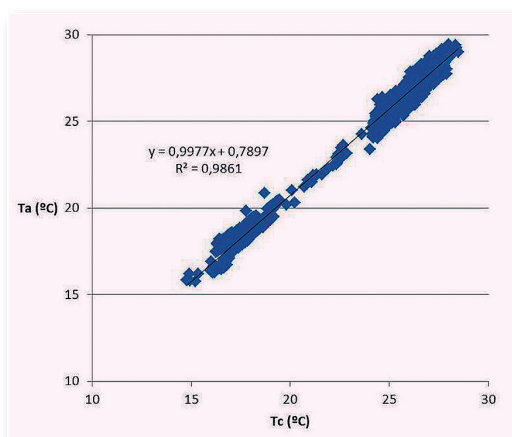
Los principales problemas para la medición de variables ambientales se han producido, tanto durante la cría de animales, como durante las operaciones de limpieza. La humedad, el polvo, la alta concentración de gases nocivos y las agresiones de los animales han influido sobre la vida de los sensores y el comportamiento de los mismos. A pesar de que los equipos han sido elegidos para ambientes agresivos, algunos sensores no han soportado las condiciones presentes en el alojamiento. Los pro-

blemas más significativos se encontraron en los sensores de  $\text{NH}_3$ . Los equipos de medición empleados para el  $\text{NH}_3$  fueron electroquímicos con una duración estimada del sensor de dos años, fabricados bajo pedido. Los resultados proporcionados por los mismos no fueron satisfactorios, debido a la saturación del sensor por acumulación de polvo con alto contenido en  $\text{NH}_3$  y los altos valores de humedad que se alcanzaron en algunos momentos. El efecto del polvo ha sido reducido mediante la introducción de filtros de malla, lo cual ha dado lugar a una mejora en las mediciones, pero no han sido capaces de proporcionar mediciones de duración mayor a 45 días, es decir un ciclo en la cría de lechones. La alternativa para incorporar este tipo de sensor sería la introducción de un equipo para el filtrado y bombeo de aire hacia el sensor que debería estar posicionado fuera del alojamiento. Esto provoca un mayor coste de la instalación y aumenta los equipos que requieren mantenimiento, por lo que no se considera factible.

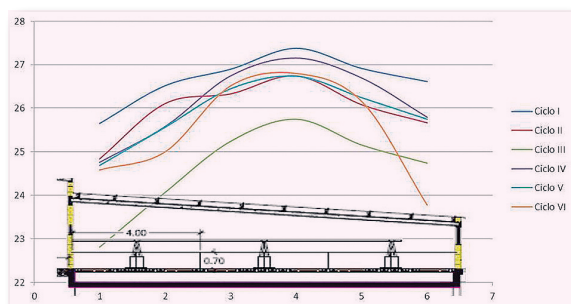
Las condiciones ambientales del alojamiento han afectado también a los sensores de humedad, que han tenido que ser repuestos en tres ocasiones en dos años de medición. Finalmente, las agresiones de los animales sobre los sensores ubicados en la zona animal han sido neutralizadas mediante su introducción en una jaula formada por barrotes de acero. Para evitar esta protección sobre los sensores bastaría con desplazarlos fuera de la zona animal, pero esto introduce un error en la medición, puesto que medimos fuera de la zona de mayor interés. La figura 4 muestra la relación lineal existente entre las temperaturas medidas en la zona de animal a 30 cm de altura y en la zona de control, a 100 cm de altura, fuera del alcance de los lechones. La correlación entre ambas es muy alta ( $R^2 = 0,9861$ ) por lo que se puede estimar fácilmente una en función de la otra.

La temperatura en la zona animal es ligeramente superior, a la que proporciona el sensor de control con una diferencia media entre ambas de  $0,7^\circ\text{C}$  (tabla 2). Estas diferencias han de ser tenidas en cuenta a la hora de establecer la temperatura de consigna, que ha de ser menor a la requerida para no sobrepasar las temperaturas recomendadas.

Además de la variación de temperatura que se produce a distintas alturas, es necesario también considerar sus variaciones longitudinales y transversales en el alojamiento. La distribución longitudinal de temperaturas a lo largo de los ciclos es muy similar. En los corrales más próximos a la zona de entra-



**Figura 4.** Relación entre las temperaturas medidas en la zona de control, a 100 cm de altura ( $T_c$ ) y en la zona animal, a 30 cm de altura ( $T_a$ ), a partir de medidas diez-minutales durante el período del 9/4/2012 al 31/5/2012.



**Figura 5.** Distribución longitudinal de temperaturas medias en el interior de la sala para un total de 6 ciclos de cría de lechones desde octubre del 2011 hasta julio de 2012.

da de aire se registran las temperaturas medias más bajas, mientras las temperaturas medias más altas son las correspondientes a los corrales situados en la zona central, descendiendo la temperatura hacia la zona de salida de aire (Figura 5). Las variaciones en las temperaturas medias de un ciclo pueden superar los 2°C. La distribución transversal de temperaturas varía estacionalmente, siendo muy inferior a la variación longitudinal, no superando 1°C entre valores medios del ciclo (Figura 6).

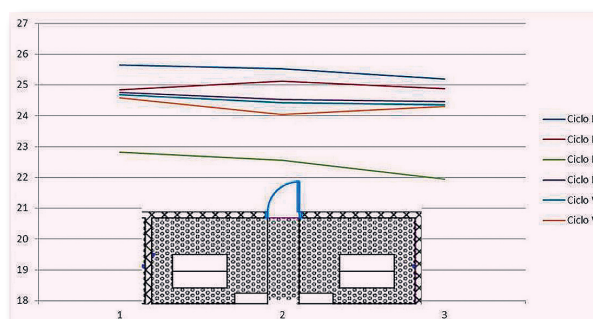
A pesar del ambiente agresivo que hay en el alojamiento, el punto más crítico para la vida de los equipos de medición han sido las operaciones de limpieza que se producen durante el vaciado sanitario de la sala una vez que los lechones son trasladados a cebadero. Para minimizar los efectos de la limpieza en los equipos de adquisición de datos se han empleado cuadros eléctricos de alto índice de protec-

**Tabla 2.** Temperaturas en la zona de control, a 100 cm de altura ( $T_c$ ) y en la zona animal, a 30 cm de altura ( $T_a$ ) a partir de medidas diez-minutales durante el período del 9/4/2012 al 31/5/2012.

	$T_c$ (°C)	$T_a$ (°C)	$T_c - T_a$ (°C)
Promedio (°C)	25,6	26,4	-0,7
Máximo (°C)	28,5	29,4	0,7
Mínimo (°C)	14,8	15,8	-2,2

ción (IP 56) y se ha asegurado la estanqueidad de las juntas para la inserción de cables. Aun así, la alta capacidad de penetración del agua, tanto por la presión como por el tamaño de gota ha ocasionado corrosión en equipos de adquisición de datos alojados en el cuadro eléctrico de la sala, a pesar de su alto IP. Los equipos de adquisición de datos instalados en el cuadro eléctrico alojado en el pasillo longitudinal de la nave, no han sufrido daños y no han tenido que ser sustituidos, puesto que la limpieza en esta zona es mucho menos intensa. Por ello y para abaratar el costo de los equipos se recomienda la ubicación de los cuadros eléctricos fuera del alojamiento, lo cual no siempre es posible fundamentalmente debido a la posición requerida para los sensores. Los sensores disponen de cables de longitudes limitadas, los cuales no pueden superarse ya que distorsionarían la medición o requerirían equipos de amplificación de señal que habría que proteger que encarecerían la instalación.

Los sensores se han impermeabilizado y protegido contra impactos mediante el uso de recipientes estancos. Aun así, el impacto provocado por el agua a presión ha destruido sensores. Por tanto, el diseño de los cuadros eléctricos debe prever conexiones rápidas y sencillas de los sensores, lo cual facilitará la sustitución de los mismos en caso de fallo así como su extracción para efectuar las labores de limpieza.



**Figura 6.** Distribución transversal de temperaturas medias en el interior de la sala para un total de 6 ciclos de cría de lechones desde octubre del 2011 hasta julio de 2012.



## Conclusiones

Los sensores de temperatura y concentración de  $\text{CO}_2$  han sido los equipos con mayor duración y fiabilidad, por lo que deberían ser empleados como base para la estimación de otras variables ambientales cuya medición resulta más compleja y cara.

La medición continua de  $\text{NH}_3$  con sensores electroquímicos no se considera viable en la explotación como variable de control por el coste de los equipos, la reposición y el calibrado que requieren, así como por los equipos auxiliares necesarios para que alcancen su máxima duración y fiabilidad. Por tanto la relación entre la concentración de  $\text{NH}_3$  y otras variables de más fácil medición es necesaria y de gran utilidad.

Los sensores para el control de las instalaciones deben ubicarse fuera de la zona del animal para garantizar su seguridad, pero siempre teniendo en cuenta las variaciones que puedan existir en dos localizaciones distintas, pues en caso contrario pueden no lograrse las recomendaciones establecidas, con consecuencias negativas para los animales y para la eficiencia energética.

Los equipos de adquisición de datos deben instalarse preferiblemente fuera del alojamiento siempre que la longitud de cable de los sensores y su posición lo permita. En caso contrario se deberán emplear cuadros eléctricos con IP muy elevado y con estanqueidad en los orificios practicados para la inserción de cables, la cual debe de hacerse siempre en la parte inferior.

La reposición continua de sensores para sustituir los defectuosos ha supuesto un importante esfuerzo, por lo que es importante la previsión de recambios para su inmediata sustitución. Se recomienda además la elaboración de conexiones rápidas que permitan tanto la cómoda sustitución en caso de fallo, como su fácil extracción para las operaciones de limpieza, evitando así su deterioro. En caso de que el posicionamiento de los sensores sea una operación delicada, se debe evitar su extracción, debiendo protegerse con elementos rígidos e impermeables durante las operaciones de limpieza.

## Referencias

**Banhazi TM, Seedorf J, Rutley DL, Pitchford WS.** Identification of risk factors for sub-optimal housing conditions in Australian piggeries: part 1. Study justification and design. *J Agric Saf Health* 2008; 14(1): 5-20.

**CIGR.** Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels. Commission Internationale du Génie Rural. 4th Report of Working Group. 2002. Research Centre Bygholm, Horsens (Denmark).

**Forcada F, Babot D, Vidal A, Buxadé C.** *Ganado porcino, diseño de alojamientos e instalaciones.* Ed. Servet: Navarra 2009.

**Garcimartin MA, Ovejero I, Sanchez E, Sanchez-Giron V.** Application of the sensible heat balance to determine the temperature tolerance of commercial poultry housing more options. *Worlds Poultry Science Journal* 2007; 63(4): 575-584.

**Guo H, Lemay SP, Barber EM, Crowe TG et al.** Humidity control for swine buildings in cold climate - Part II: Development and evaluation of a humidity controller. *Canadian Biosystems Engineering* 2001; 43: 537-546.

**Cox S.** *Precision Livestock Farming '05*, JTI-Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering, Wageningen Academic Publishers; 2005: 57-64.

**Hamelin L, Godbout S, Theriault R, Lemay SP.** Evaluating ammonia emission potential from concrete slat designs for pig housing. *Biosystems Eng* 2010; 105(4): 455-465.

**Kim K, Ko HJ, Lee KJ, Park JB et al.** Temporal and spatial distributions of aerial contaminants in an enclosed pig building in winter. *Environ Res* 2005; 99(2): 150-157.

**Monteny GJ, Bannink A, Chadwick D.** Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. *Agriculture Ecosystems & Environ* 2006; 112(02-Mar): 163-170.

**Ni JQ, Heber AJ, Darr MJ, Lim TT et al.** Air quality monitoring and on-site computer system for livestock and poultry environment studies. *Trans ASABE* 2009; 52(3): 937-947.

**Oliveira RFM, Donzele JL, Freitas RTF, Fonseca FA.** Effect of environmental temperature on performance and on physiological and hormonal parameters of barrows fed different levels of digestible energy. *Revista Brasileira de Zootecnia* 1997; 26(6): 1173-1182.

**Parsons DJ, Green DM, Schofield CP, Whittemore CT.** Real-time control of pig growth through an integrated management system. *Biosystems Eng* 2007; 96(2): 257-266.

**Soldatos AG, Arvanitis KG, Daskalov PI, Pasgianos GD et al.** Nonlinear robust temperature-humidity control in livestock buildings. *Computers and electronics in agriculture* 2005; 49: 357-376.

**Sun G, Hoff SJ, Zelle BC, Nelson MA.** Development and comparison of backpropagation and generalized regression neural network models to predict diurnal and seasonal gas and pm10 concentrations and emissions from swine buildings. *Trans ASABE* 2008; 51(2): 685-694.

**Vantklooster CE, Heitlager BP.** Determination of minimum ventilation rate in pig houses with natural ventilation based on carbon-dioxide balance. *Journal of Agricultural Engineering Research* 1994; 57(4): 279-287.

**Vranken E, Claes S, Berckmans D.** Reduction of ammonia emission from livestock buildings by the optimization of ventilation control settings. *Air Pollution from Agricultural Operations III, Proceedings*; 2003: 167-173.

**Wellock IJ, Emmans GC, Kyriazakis I.** Modelling the effects of thermal environment and dietary composition on pig performance: model logic and concepts. *Animal Science* 2003; 77:255-266.

**Zhang G, Bjerg B, Strom JS, Morsing S et al.** Emission effects of three different ventilation control strategies - a scale model study. *Biosystems Eng* 2008; 100(1): 96-104.