

## Evaluación ambiental de los fondos documentales de la biblioteca Tomás Navarro Tomás del CCHS-CSIC

Javier Peña-Poza\*, Juan Félix Conde\*, Teresa Palomar\*, Fernando Agua\*, Manuel García-Heras\* y M.<sup>a</sup> Ángeles Villegas\*

**Resumen:** El procedimiento más innovador de conservación preventiva de los fondos documentales de bibliotecas, especialmente los de carácter histórico, consiste en la evaluación de los parámetros ambientales que afectan negativamente a la conservación de los materiales implicados. La aplicación de sensores permite la monitorización completa, precisa y segura de las condiciones ambientales, predecir los mecanismos químicofísicos de degradación y los procedimientos más adecuados para controlarlos. Los sensores de este estudio se prepararon por el procedimiento sol-gel y experimentan un cambio de color cuando varían los parámetros a evaluar. Todos los sensores son reversibles, regenerables y reutilizables.

Los parámetros evaluados han sido temperatura, humedad relativa, iluminación y acidez. En la primera etapa se utilizaron aparatos convencionales para determinar los intervalos críticos de variación de dichos parámetros. Posteriormente se diseñaron y prepararon sensores ópticos con sensibilidad en esos intervalos, se calibraron y se distribuyeron en las salas de los fondos documentales (aproximadamente 3.200 m<sup>2</sup>). La respuesta óptica de los sensores (cambio de color) se registró mediante espectrofotometría visible durante la primavera-verano de 2009. El uso de estos sensores presenta las siguientes ventajas: bajo coste, ausencia de cables y aparatos durante la exposición, pequeño tamaño, reversibilidad y tiempos cortos de respuesta. Los resultados han permitido conocer las condiciones ambientales de conservación de los fondos documentales, incluyendo la acidez ambiental que hasta ahora no es posible evaluar con los procedimientos convencionales disponibles.

**Palabras clave:** conservación, fondos documentales, sensores, biblioteca, acidez.

### *Environmental evaluation of the holdings at the CCHS-CSIC Tomás Navarro Tomás Library*

**Abstract:** *The most innovative procedure for preventive conservation of library holdings, especially those of historical interest, lies in the evaluation of environmental parameters which have a negative effect on the conservation of such materials. The application of sensors permits for full, accurate and secure monitoring of environmental conditions and allows for the prediction of chemical-physical mechanisms of degradation, as well as of the most suitable procedures for controlling them. The sensors used in the present study*

---

\* Instituto de Historia, Centro de Ciencias Humanas y Sociales, CSIC. Correo-e: mariangeles.villegas@cchs.csic.es.

Recibido:11-03-2010; aceptado:10-05-2010.

*were prepared by the sol-gel method and change colour when variations in the evaluated parameters occur. All of the sensors are reversible, reusable and can be regenerated.*

*Temperature, relative humidity, illumination and acidity were the parameters evaluated. In the first stage, conventional apparatus were used to determine the critical ranges of variation for such parameters. Subsequently optical sensors sensitive in such ranges were designed and prepared. These sensors were calibrated and distributed throughout the rooms containing the holdings (approximately 3.200 square meters). The optical response of the sensors (change of colour) was recorded by visible spectrophotometry during the spring and summer of 2009. The use of sensors has the following advantages: low cost, no need for wires or apparatus during exposure, small size, reversibility, and short response time. The resulting data have revealed the environmental conditions of the conservation of the holdings, including environmental acidity, a parameter that could not be evaluated previously through conventional procedures.*

**Keywords:** *conservation, holdings, sensors, library, acidity.*

## 1. Introducción

La biblioteca Tomás Navarro Tomás, ubicada en el Centro de Ciencias Humanas y Sociales del CSIC, es el resultado de la fusión de ocho bibliotecas pertenecientes a centros e institutos del CSIC especializados en el área de Humanidades y Ciencias Sociales con sede en Madrid. Éstas son, la Biblioteca Central del CSIC, la Biblioteca General de Humanidades, la Biblioteca del Instituto de Historia, la Biblioteca del Instituto de Filología y de la Lengua Española, la Biblioteca del Instituto de Economía y Geografía, la Biblioteca del Instituto de Filosofía, la Biblioteca de la antigua Unidad de Políticas Comparadas, y los fondos documentales del Instituto de Información y Documentación en Ciencias Sociales y Humanidades (ISOC, hoy Instituto de Estudios Documentales de Ciencia y Tecnología).

La biblioteca del CCHS adopta el nombre de Tomás Navarro Tomás (1884-1979) en homenaje al ilustre lingüista especializado en fonética y dialectología que desarrolló su labor de investigación en el Centro de Estudios Históricos. Creó y dirigió el Laboratorio de Fonética y realizó estudios de dialectología y fonética en zonas de León, Andalucía y Alto Aragón. Además, participó en la elaboración del ALPI, el Atlas Lingüístico de la Península Ibérica. El ALPI fue un proyecto cultural llevado a cabo en los años de la II República, bajo el patrocinio de Ramón Menéndez Pidal, que quedó paralizado por el comienzo de la guerra civil. En 1939, al término del conflicto, Tomás Navarro Tomás se exilió a los Estados Unidos, donde permaneció como catedrático de Filología Hispánica en la Universidad de Columbia, hasta su fallecimiento.

El origen de la colección está asociado a la creación en 1910 de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas y la Sección Bibliográfica del Centro de Estudios Históricos. Cuando se creó el CSIC en 1939, heredó sus fondos documentales y bibliográficos, parte de los cuales se conservaron en la Biblioteca General de Humanidades, en el Instituto de Historia y en el Instituto de Filología y de la Lengua Española, todos con sede en el antiguo Centro de

Estudios Históricos, situado en la calle Duque de Medinaceli de Madrid y que, a partir de 1999, pasó a denominarse Centro de Humanidades. El proyecto de fusión de las ocho bibliotecas nace en noviembre de 2005 y se ejecuta a partir de mediados de 2006, con la complejidad de unificar, no solamente ocho colecciones diferentes, sino también, el personal y los sistemas de gestión de cada una de ellas. Finalmente, la biblioteca TNT abre sus puertas al servicio de la investigación en enero de 2008. La colección de la biblioteca la componen alrededor de un millón de unidades documentales, entre monografías, publicaciones periódicas y otros formatos. En los depósitos de acceso restringido destacan por su especial valor de conservación, entre otros, el Fondo antiguo RES (Depósito D) con alrededor de 12.000 manuscritos e impresos anteriores a 1830; la colección bibliográfica del siglo XIX (Depósito G), que reúne cerca de 28.000 monografías editadas entre 1831 y 1900; y el Archivo Fotográfico Sánchez Albornoz-AFSA (Depósito E), donde se conservan más de 20.000 fotografías, que se corresponden con 6.500 documentos medievales de los siglos XI al XV, junto con los negativos de nitrato y las placas fotográficas de vidrio.

Dadas las características de los fondos documentales de la biblioteca TNT, en cuanto a su valor tanto histórico como documental, sus condiciones de conservación adquieren una gran relevancia. La evaluación de los parámetros ambientales es un procedimiento indirecto y no agresivo para estimar las condiciones reales de conservación, así como una vía de predicción de posibles fenómenos de deterioro y degradación. En la presente investigación se ha aplicado la tecnología de sensores ópticos sol-gel para el estudio de diversos parámetros ambientales, que pueden afectar a la correcta conservación de los materiales constituyentes de los fondos documentales. Los objetivos principales han sido dos: por un lado, la tasación ambiental de las salas donde se encuentran los fondos documentales de la biblioteca TNT en el CCHS y, por otro lado, la validación práctica de un conjunto de sensores basados en la tecnología sol-gel, que se han desarrollado a lo largo de los últimos diez años por el equipo investigador. Para ello se ha contado con la constante e imprescindible cooperación de la biblioteca TNT, especialmente de su dirección y del personal encargado de la custodia de los fondos documentales.

## **2. Metodología experimental**

Los sensores sol-gel que se destinan a la evaluación ambiental de las salas donde se conservan los fondos documentales de la biblioteca TNT poseen unas características singulares: son de pequeño tamaño, por lo que resulta fácil colocarlos en lugares de acceso limitado y en posiciones discretas; permiten una manipulación sencilla y un transporte rápido, ya que carecen de baterías o cables; su coste de producción es pequeño, para su síntesis se utilizan cantidades bajas de reactivos comunes; presentan buena resistencia y estabilidad química, etc. (García-Heras y otros, 2004).

## 2.1. Síntesis de los sensores

Los sensores de acidez ambiental consisten en una capa preparada por el procedimiento sol-gel sobre una lámina de vidrio común sódico cálcico (Villegas, 2006). La capa se obtiene a partir de una suspensión coloidal o *sol* en el que se incorpora un colorante orgánico capaz de comportarse como fase sensora (Carmona y otros, 2004). Una vez recubierto el vidrio con el *sol* se densifica parcialmente para alcanzar la estabilidad química requerida durante la manipulación del sensor. La densificación se lleva a cabo mediante un tratamiento térmico, tras el cual se obtiene una película delgada coloreada de *gel* sobre ambas caras del vidrio soporte (espesor ~250-450 nm). Los sensores recién preparados se conservan en un ambiente húmedo; de este modo se preserva y garantiza una respuesta óptica rápida.

Los sensores de humedad relativa se sintetizan con un procedimiento muy parecido al de los sensores de acidez ambiental. Como soporte también se utilizan láminas de vidrio común, que se recubren con capas sol-gel dopadas con un pigmento orgánico que actúa como fase sensora (Carmona y otros, 2007a). La estabilidad química de estos sensores también se alcanza mediante un tratamiento térmico de densificación. Respecto a su conservación, también se mantienen en un ambiente ligeramente húmedo.

La síntesis de los sensores de temperatura es distinta de la de los casos anteriores. El *sol* recién preparado se deposita en cubetas espectrofotométricas de material polimérico. Dicho *sol* contiene una sustancia sensible a los cambios de temperatura y es capaz de dar una respuesta óptica (Carmona y otros, 2008). Los *soles* contenidos en las cubetas se densifican a temperatura ambiente, con lo que se obtiene un *gel* sólido. Para su óptima conservación es conveniente sellar herméticamente las cubetas, con lo que se prolonga el tiempo de vida media del sensor.

La síntesis de los sensores de luz es semejante a la de los sensores de temperatura. El *sol* dopado con un colorante orgánico sensible a las variaciones de luz ambiental se deposita en cubetas espectrofotométricas (Herrero y otros, 2007). Dichas cubetas se sellan herméticamente antes de ser sometidas a un tratamiento térmico de densificación parcial.

En todos los casos la respuesta óptica de los sensores consiste en variaciones de la absorción luminosa en el intervalo de la longitud de onda visible, bien de las capas coloreadas que recubren los vidrios soporte, o bien del material contenido en las cubetas.

## 2.2. Acondicionamiento previo de los sensores

El acondicionamiento previo de los sensores permite optimizar la respuesta de los mismos, maximizando su señal óptica y reduciendo los tiempos de respuesta (Carmona y otros, 2007b). El acondicionamiento se lleva a cabo en el laboratorio en una fase previa a la exposición de los sensores en los ambientes a evaluar. En el caso de los sensores de acidez se esperan valores promedio en

torno al pH neutro. Para dichos valores, los sensores de acidez presentan una coloración violeta muy clara. Con el fin de optimizar la respuesta de estos sensores, de modo que las variaciones de absorción sean las mayores posibles cuando se expongan al ambiente, se sumergieron en una disolución de pH básico en la que los sensores adquirieron una tonalidad inicial mucho más intensa que la obtenida en ambientes próximos a la neutralidad.

Los sensores de humedad presentan un color verde para valores de humedad relativa por debajo de 20%. Por encima de dicho umbral la tonalidad de estos sensores evoluciona a un tono azul, tanto más intenso cuanto mayor es la humedad relativa. El acondicionamiento previo de estos sensores consistió en someterlos a la acción de una disolución ácida concentrada en la que se reproducen las condiciones de humedad relativa muy baja. Los sensores adquieren entonces la tonalidad verde, que cambiará a azul al exponerlos a los ambientes donde se esperan valores de humedad relativa por encima del 20%.

Los sensores de temperatura poseen una tonalidad azul a temperaturas medias y altas (15-30 °C). La intensidad del color azul aumenta al aumentar la temperatura. A baja temperatura (5-15 °C) los sensores muestran un color rosa. El acondicionamiento previo de estos sensores consistió en mantenerlos a una temperatura baja para que, una vez instalados en el ambiente a evaluar, evolucionen desde la tonalidad rosada hasta la intensidad de azul que se corresponde con la temperatura del ambiente.

Por último, en cuanto a los sensores de luz, no se acondicionaron ni instalaron de acuerdo con los resultados de los registros previos de la iluminación en las distintas salas. Dichas medidas se llevaron a cabo con un luxómetro convencional (PROMAX, modelo IL-185). Los resultados que se obtuvieron (tabla I) indicaron que las iluminaciones más elevadas apenas alcanzan 450 lux (el promedio de iluminación por incidencia de luz solar alcanza unos 1.500 lux), y el resto de los valores se encuentran en el intervalo de 4-430 lux. Estos resultados son coherentes con la localización de las salas a evaluar en el edificio del CCHS, que se encuentran en el segundo sótano, aisladas de la luz natural. Por otro lado, la mayoría de las salas no son de acceso público y permanecen con la ilumina-

**TABLA I**

*Resultados de la evaluación de luz ambiental (lux) registrados con luxómetro convencional en los fondos de la biblioteca Tomás Navarro Tomás*

Zonas de medida	Valores extremos (lux)	Salas												
		A	B-1	B-2	B-3	B-4	C-1	C-2	C-3	C-4	D	E	F	G
Luz en sala	Máximo	316	262	429	215	239	260	266	234	315	227	245	313	210
	Mínimo	16	27	47	17	27	22	27	9	21	6	13	45	16
Luz entre compactos	Máximo	430	303	155	28	358	309	187	137	254	252	57	284	278
	Mínimo	32	23	30	5	29	5	4	16	7	8	4	16	4

ción artificial desconectada, que sólo se activa cuando el personal autorizado de la biblioteca accede a las mismas. Únicamente las cuatro salas C, correspondientes a la Hemeroteca, son de acceso público y permanecen iluminadas con fluorescentes durante la jornada de trabajo. Incluso en estos casos, los documentos no tienen por qué verse afectados, ya que se encuentran colocados en estanterías compactas que normalmente permanecen cerradas.

Estas condiciones de iluminación hicieron innecesaria la instalación de sensores de luz, puesto que no se esperan alteraciones de importancia en los fondos documentales debido a iluminaciones no adecuadas o intensas.

### **2.3. Instalación de los sensores**

Una vez realizado su acondicionamiento previo, se instalaron dos sensores de cada parámetro a evaluar en cada una de las salas. Un conjunto de tres sensores (acidez, humedad relativa y temperatura) se colocó en un lugar discreto entre dos compactos (suspendidos de un estante), y el otro juego de sensores se colocó en una zona libre de compactos lo más alejada posible de la anterior. Los sensores de acidez y de humedad relativa se colocan en una funda de plástico con una perforación en su parte central y con una pinza para su sujeción, mientras que los de temperatura se suspendieron de un pequeño cordel pendiente de la pinza.

Con el fin de evitar sensibilizaciones anticipadas de los sensores durante su traslado desde el laboratorio hasta las salas, los sensores de acidez y de humedad relativa se introdujeron en bolsas de plástico con autocierre, mientras que los sensores de temperatura se transportaron en un contenedor isotérmico.

Los sensores se situaron próximos entre ellos (a una distancia de unos 5 cm), de modo que se obtenga una evaluación de los tres parámetros ambientales en un entorno relativamente limitado y homogéneo. Además, es necesario que los sensores de humedad relativa se sensibilicen junto a los de acidez, ya que la presencia en el aire de especies con características ácido-base puede interferir en la respuesta óptica de la fase sensible de los sensores de humedad haciendo que estas medidas no sean fiables (Carmona y otros, 2007b).

Los sensores estuvieron expuestos desde el día 31 de agosto de 2009 hasta el día 21 de septiembre de 2009.

### **2.4. Registro de la respuesta óptica de los sensores**

Para la recopilación de los resultados se habilitó un equipo móvil sencillo consistente en un ordenador portátil conectado a un espectrofotómetro visible (Ocean Optics, modelo HR4000), provisto de una fuente de luz adecuada y de un portamuestras adaptado al tamaño y forma de los sensores. El registro de los espectros de absorción visible de los sensores se realizó *in situ* en todas y cada una de las ocasiones, en el intervalo de 400 a 800 nm. Una vez registrado el espectro visible de cada sensor, éstos se devolvieron a su posición, donde permanecieron hasta el siguiente registro. Los sensores de acidez y de temperatura

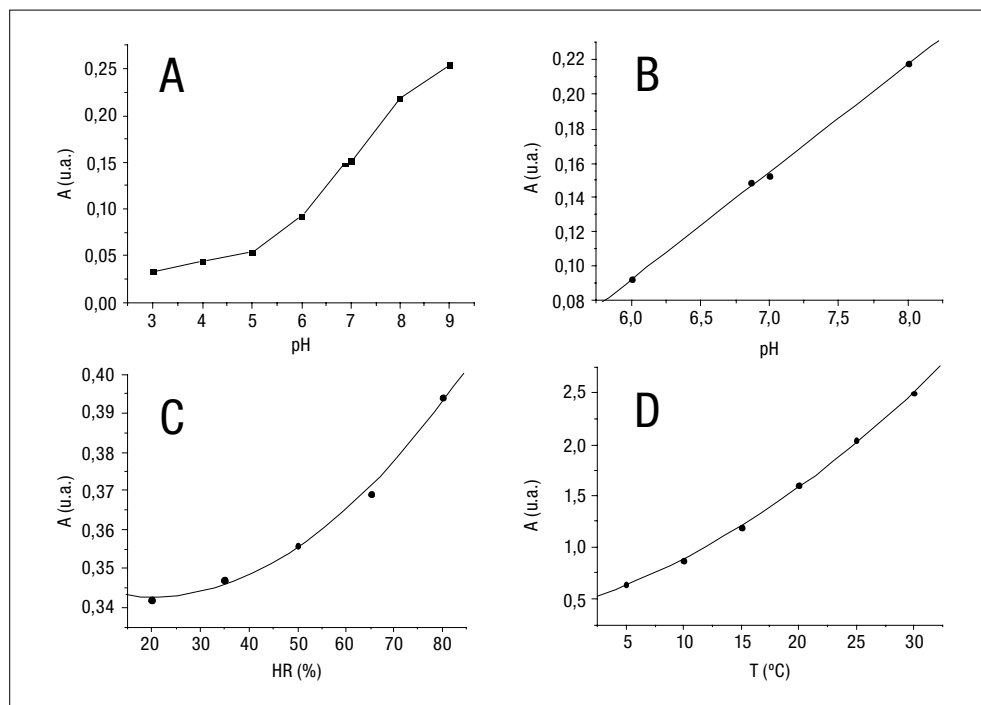
no precisan acondicionamientos periódicos como los descritos en la sección 2.2, ya que son capaces de sensibilizarse continua y reversiblemente en función de las variaciones ambientales de sus respectivos parámetros. Sin embargo, los sensores de humedad relativa una vez sensibilizados, y habiendo alcanzado una situación de equilibrio con la humedad ambiental, responden lentamente a la recuperación de sus condiciones iniciales. Es necesario, por lo tanto, regenerarlos al cabo de 6-8 días y reubicarlos en sus posiciones para continuar con el registro de los datos correspondientes de humedad relativa. Esta característica no es incompatible con la reutilización de los sensores, si bien indica que su reversibilidad no es espontánea y deben regenerarse o reacondicionarse periódicamente.

### 3. Resultados y discusión

Las curvas de calibrado de los sensores de acidez (figura 1A y B), de humedad relativa (figura 1C) y de temperatura (figura 1D), se elaboraron utilizando los sensores preparados para el presente estudio y utilizando el espectrofotómetro indicado en la sección 2.4.

FIGURA 1

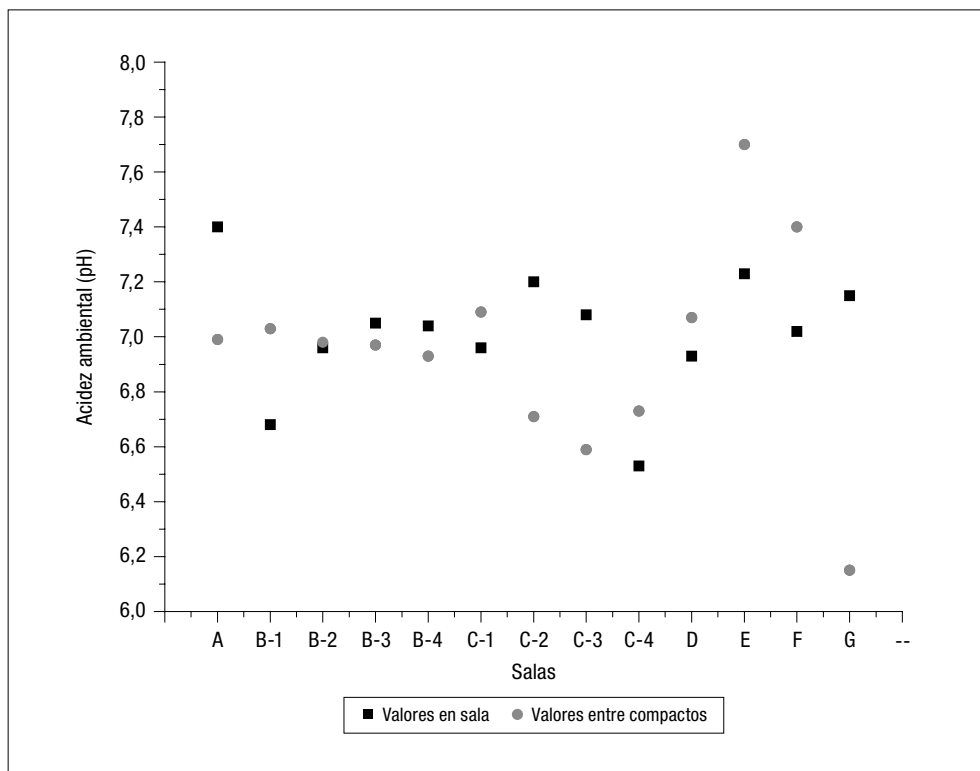
*Curvas de calibrado: A) sensor de acidez, B) sensor de acidez en el intervalo de pH ~ 6-8, C) sensor de humedad relativa y D) sensor de temperatura*



En el caso de los *sensores de acidez* se ha establecido un ajuste a una recta en el intervalo de pH esperable (pH ~ 6-8); cuyo error es de  $\pm 0,02$  unidades de pH. Cada valor de acidez ambiental medido se ha obtenido interpolando el valor de la intensidad del máximo de absorbancia a 575 nm en la recta de la figura 1B. En la figura 2, se han representado los valores promedio (media aritmética) de los valores de pH obtenidos a través de la respuesta óptica de los sensores correspondientes situados en las distintas posiciones de las salas. Los resultados de la figura 2 indican que, en general, la acidez media entre compactos es menor que en el ambiente sin compactos de la misma sala. Asimismo, se observan variaciones de acidez mayores en las salas donde el trasiego de personas es mayor, es decir en la Hemeroteca (salas C). Los resultados de la sala G han puesto de manifiesto una diferencia de acidez de 1 unidad de pH entre los valores registrados en los compactos (pH ~ 6,15) y los registrados en el ambiente sin compactos (pH ~ 7,15). Esta diferencia de acidez se puede considerar de importancia si se tiene en cuenta que la zona de compactos está

**FIGURA 2**

*Resultados de acidez ambiental registrados en las salas de los fondos documentales de la biblioteca TNT*





separada de la zona libre por unos 8 m. Este resultado podría relacionarse con la naturaleza de los documentos depositados en los compactos de la sala G, que están fechados entre 1830 y 1900, y quizás con posibles emisiones de los papeles, tintas u otros materiales de las encuadernaciones (Van der Reyden, 1995). Por otro lado, hay que destacar que en las salas A, E y F, se registraron los valores de pH más elevados. Dichos registros podrían explicarse por el efecto de sustancias de reacción básica o alcalina utilizadas en la limpieza de estas salas, o por la existencia en el interior de los compactos de contenedores de almacenaje especiales con un tamponado alcalino para proteger los documentos durante su custodia.

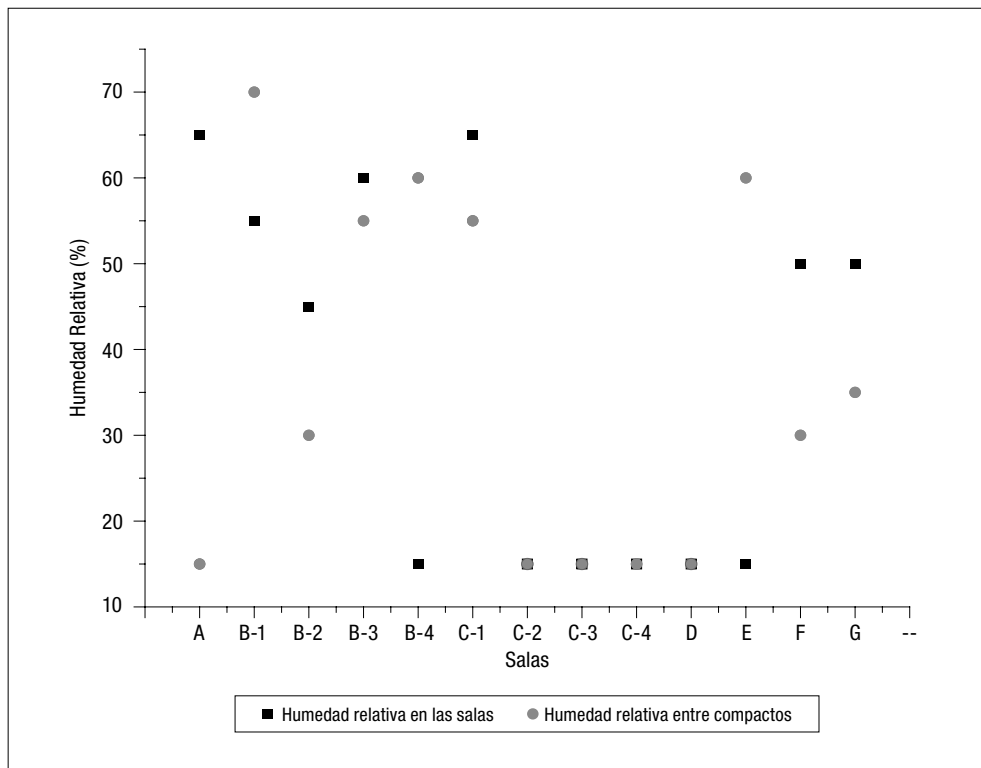
En las salas no colindantes con ninguna fachada del edificio, las variaciones de acidez son menores que en las salas más exteriores. La Hemeroteca constituye una excepción a esta tendencia, que podría explicarse por la mayor afluencia y trasiego de personas, lo que conlleva una ventilación mayor y posiblemente, la introducción de mayor proporción de especies gaseosas contaminantes de determinadas características ácido-base.

En la curva de calibrado de los *sensores de humedad relativa* se ha realizado un ajuste de los puntos experimentales con una ecuación de segundo grado. Aunque este ajuste se puede considerar correcto, el error de la medida se ha estimado en  $\pm 5\%$  de humedad relativa (figura 3). Al igual que en el caso anterior, los valores de humedad relativa ambiental se obtuvieron interpolando el valor de la intensidad del máximo de absorbancia a 575 nm, en la curva de la figura 1C. La figura 3 muestra los resultados promedio (media aritmética) de los registros realizados con los sensores de humedad relativa en las distintas salas. De estos resultados se deduce que la sala situada junto a la fachada sur del edificio es la que presenta menores porcentajes de humedad relativa, como corresponde a la zona más soleada y cálida. En general se ha observado que la humedad relativa en las zonas sin compactos es mayor que entre compactos, lo que podría deberse a una absorción parcial de la humedad ambiental por parte de los documentos (esencialmente por el papel). Los resultados de humedad relativa deben interpretarse con cautela ya que, por un lado, están afectados por un error relativamente elevado, y, por otro lado, se ven limitados por la interferencia que en ellos originan los cambios de acidez ambiental (Carmona y otros, 2007b) (Villegas y Pascual, 2000), como ya se ha indicado en la sección 2.3, y que pueden llegar incluso a bloquear su respuesta. De hecho los valores registrados iguales o menores de 20% de humedad relativa carecen de la fiabilidad suficiente. Puesto que en las salas evaluadas se producen variaciones de la acidez ambiental (figura 2), la humedad relativa debería monitorizarse con higrómetros convencionales o con otros sensores de humedad en los que se garantice la no interferencia de especies ácidas.

Para los *sensores de temperatura* se realizó un calibrado cuya curva se ajusta adecuadamente a una ecuación de segundo grado. Los valores de temperatura se han obtenido interpolando el valor de la intensidad del máximo de absorbancia a 669 nm en la curva de la figura 1D. La determinación de la temperatura es

**FIGURA 3**

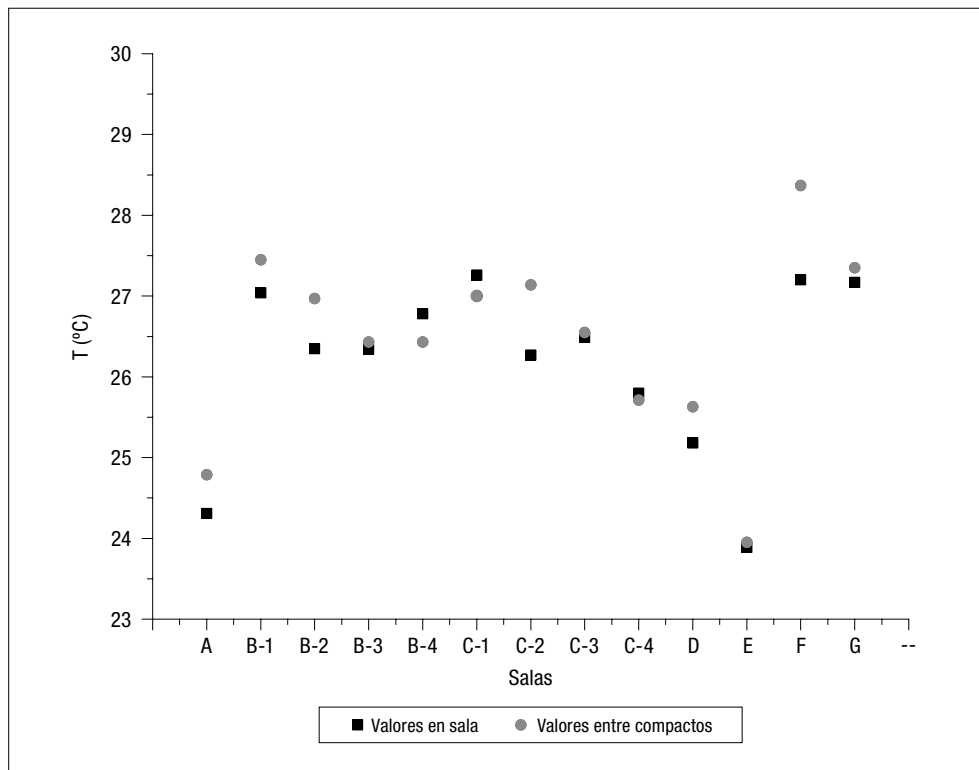
*Resultados de humedad relativa registrados en las salas de los fondos documentales de la biblioteca TNT*



muy precisa, con un error de  $\pm 0,01$  °C (figura 4). Cuando se estudia la evolución de los resultados a lo largo del tiempo total de exposición de los sensores a las condiciones ambientales de las salas, se observa que los sensores detectan variaciones de temperatura con un cierto retardo respecto a los que tienen lugar en el exterior del edificio. Asimismo, los registros obtenidos muestran una tendencia amortiguada respecto a los cambios mucho más bruscos que se producen en el exterior. Las temperaturas promedio registradas entre compactos son ligeramente superiores a las temperaturas de las respectivas zonas de las salas sin compactos. En los resultados de temperatura obtenidos en las salas F y G, con orientación sur en el edificio, destacan valores más elevados que en la sala A (con orientación norte) y en las salas D y E (con orientación este). Por lo general, los resultados de temperatura obtenidos con los sensores siguen el mismo hábito que las variaciones registradas por la estación meteorológica de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) más cercana al CCHS, situada a unos 7 Km, en el aeropuerto de Barajas (figura 5). Finalmente, la temperatura ambiental tam-

**FIGURA 4**

*Resultados de temperatura registrados en las salas de los fondos documentales de la biblioteca TNT*



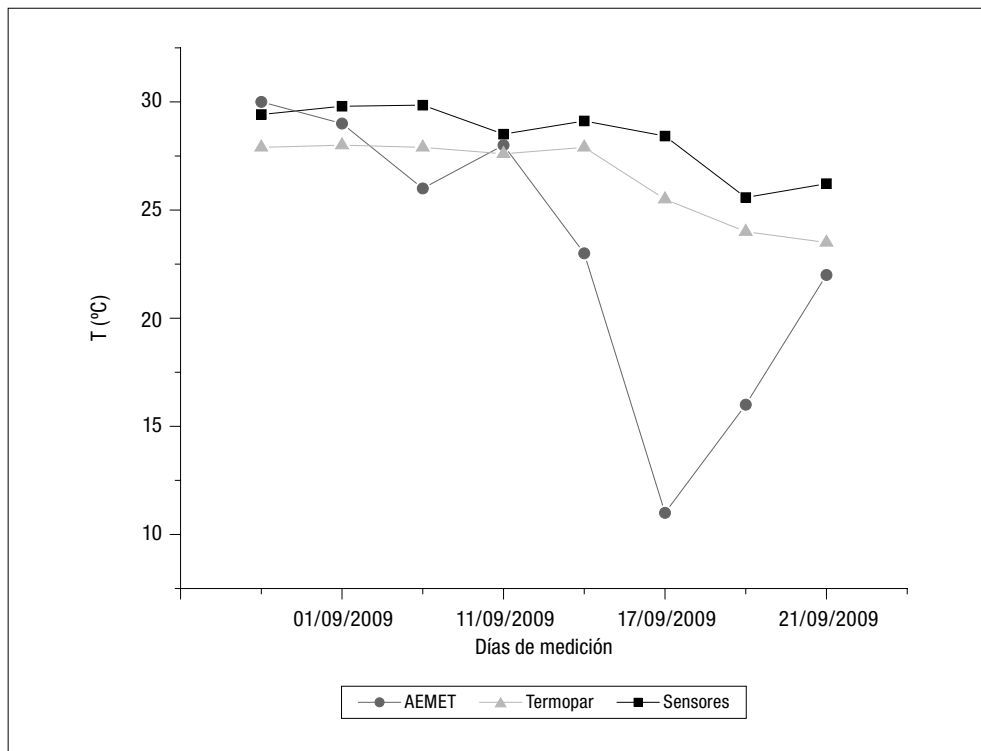
bién se monitorizó a efectos de control con un termopar convencional (MultiLog-PRO). La figura 5 recoge los resultados correspondientes en los que, por un lado, se aprecia la misma evolución a lo largo del tiempo de exposición, y, por otro lado, una menor sensibilidad que la registrada con los sensores ópticos preparados en este estudio.

#### **4. Conclusiones**

Se ha aplicado la tecnología de sensores ópticos sol-gel para evaluar las condiciones ambientales de acidez, humedad relativa y temperatura en las salas de los fondos documentales de la biblioteca Tomás Navarro Tomás. Los resultados de acidez y temperatura fueron satisfactorios, mientras que los de humedad relativa están afectados de un error relativamente elevado y presentan interferencia con las variaciones de acidez en el intervalo registrado.

**FIGURA 5**

*Comparación de los resultados de temperatura registrados por: AEMET, termopar convencional y sensores ópticos*



Las variaciones registradas de acidez ambiental están relacionadas con la orientación de la sala respecto al edificio, la afluencia y/o trasiego de personas y, posiblemente, con las características particulares de los documentos contenidos en los compactos. No se ha observado una tendencia clara dentro de una misma sala aunque, en general, las mayores variaciones de acidez ambiental se registraron en las zonas sin compactos, correspondiendo las variaciones menores a las zonas entre compactos.

Aunque los resultados de los sensores de humedad relativa no son completamente fiables, en ellos se observaron dos tendencias coherentes: en los depósitos F y G con orientación sur se registraron bajas humedades relativas, y, en general, en las zonas sin compactos se registró una humedad relativa mayor que la detectada entre compactos.

Los valores de temperatura registrados por los sensores siguen los mismos hábitos que los datos procedentes de la AEMET (estación meteorológica de Barajas, Madrid), así como respecto a los resultados obtenidos con un termopar

convencional. Los sensores de temperatura son suficientemente sensibles para detectar los cambios de temperatura del exterior en el interior de las salas y sus compactos, de forma retardada y amortiguada. Dichos sensores demostraron ser más sensibles que un termopar convencional a las pequeñas variaciones de temperatura que se pueden producir en una misma sala.

El nivel de iluminación artificial en las salas se midió con un luxómetro convencional, obteniéndose valores menores de 500 lux. Puesto que se trata de iluminaciones muy reducidas que, en general, sólo se activan durante períodos de tiempo cortos y limitados, fue innecesaria la instalación de los sensores ópticos de luz.

## **5. Agradecimientos**

Los autores agradecen a la biblioteca TNT del CCHS su colaboración, especialmente a su directora Pilar Martínez Olmo, así como a María Jesús Morillo, Francisco González Sarmiento y Alejandro Jiménez Martín por su colaboración en el acceso a las salas durante la instalación de los sensores y el registro de los resultados.

Asimismo, agradecen a Jesús Plaza Pérez, responsable de la Unidad de Mantenimiento e Instrumentación del CCHS las facilidades prestadas y la información sobre el inmueble.

Los autores agradecen la financiación parcial del Programa Consolider Ingenio ref. 2010 TCP-CSD 2007-00058, del proyecto CICYT-MAT ref. 2006-04486 y del Programa Geomateriales ref. CM S-2009/Mat-1629.

J. Peña-Poza agradece al Programa Consolider Ingenio mencionado un contrato y T. Palomar al MICINN una beca predoctoral FPU.

## **6. Bibliografía**

- Carmona, N.; Villegas, M. A., y Fernández Navarro, J. M. (2004). Optical sensors for evaluating environmental acidity in the preventive conservation of historical objects. *Sensors and Actuators A*, vol. 116, 398-404.
- Carmona, N.; García Heras, M.; Herrero, E.; Kromka, K.; Faber, J., y Villegas, M. A. (2007a). Improvement of glassy sol-gel sensors for preventive conservation of historical materials against acidity. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, vol. 46 (4), 213-217.
- Carmona, N.; Herrero, E.; Llopis, J., y Villegas, M. A. (2007b). Chemical sol-gel-based sensors for evaluation of environmental humidity. *Sensors and Actuators B*, vol. 126, 455-460.
- Carmona, N.; Herrero-Hernandez, E.; Llopis, J., y Villegas, M. A. (2008). Novel sol-gel reversible thermochromic materials for environmental sensors. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, vol. 47, 31-37.

- García-Heras, M.; Carmona, N.; Gil, C., y Villegas, M. A. (2004). New optical sensors for monitoring acid environments in preventive conservation. *Coalition. CSIC Thematic Network on Cultural Heritage. Electronic Newsletter*, vol. 7, 5-8.
- Herrero, E.; Carmona, N.; Llopis, J., y Villegas, M. A. (2007). Sensitive glasslike sol-gel materials suitable for environmental light sensors. *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 27, 4589-4594.
- Van der Reyden, D. (1995). Paper documents. *Storage of Natural History Collections: a preventive conservation approach*, vol. I.
- Villegas, M. A. (2006). *Procedimiento de encapsulamiento de colorantes orgánicos en un material sólido para la producción de sensores con respuesta óptica, para la medida de la acidez, basicidad o pH de entornos gaseosos, o líquidos, o mixtos sólidos/líquidos*. Patente P200602403. Titular: CSIC, España.
- Villegas, M. A., y Pascual, L. (2000). Chemical and optical properties of dye-doped sol-gel films. *Journal of Materials Science*, vol. 35: 4615-4619.