

Tecnología *maker* y su aplicación en conservación

Maker Technology and Its Application in Conservation

JULIO-DICIEMBRE 2022
JULY-DECEMBER 2022

DOI: 10.30763/Intervencion.271.v2n26.50.2022 · AÑO 13, NÚMERO 26: 69-104 · YEAR 13, ISSUE NO. 26: 69-104

Postulado/Submitted: 14.01.2022 · Aceptado/Accepted: 17.02.2023 · Publicado/Published: 18.09.2023

Gustavo Lozano San Juan

Instituto de Investigaciones Estéticas (IIE),
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México
gustavolsj@gmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9593-6917>

Corrección de estilo por/Copy editing by Alejandro Olmedo | Traducido por/Translated by Fernanda Andablo

[Ir a versión
en español](#)

RESUMEN

Esta INVESTIGACIÓN describe la construcción de un *datalogger* (registrador de datos o termohigrómetro digital) de humedad relativa y temperatura que, con base en las herramientas y la filosofía del movimiento *maker*, puede usarse en la conservación preventiva de bienes culturales. Se presentan los requerimientos técnicos del aparato, como: la precisión y resolución del sensor, la fuente de poder, la capacidad de memoria, la forma de acceso a los datos, la durabilidad, el tamaño y el costo.

El resultado del proyecto es un *datalogger* que, 10 veces más económico que uno comercial, brinda resultados prácticamente idénticos, con diferencias significativas en la forma de empleo por parte del usuario. La metodología aplicada destaca por ser una alternativa de bajo costo que puede adaptarse a una amplia gama de tareas y problemas en el ámbito de la conservación.

PALABRAS CLAVE

datalogger, conservación preventiva, monitoreo ambiental, movimiento *maker*, electrónica, programación

[Go to English
version](#)

JULIO-DICIEMBRE 2022
JULY-DECEMBER 2022

ABSTRACT

This paper describes the construction of a datalogger for use in conservation, it is based on the tools and philosophy of the maker movement. The requirements of a datalogger for monitoring the environmental conditions of storage spaces for heritage collections are presented, such as: the precision and resolution of the sensor, the power source, the memory capacity, the way to access to data, durability, size, and cost.

The result is a datalogger that is 10 times cheaper and that yields identical results to a commercial one, but with significant differences in the way it is operated by the user. The applied methodology stands out as a low-cost alternative, applicable to a wide range of problems and applications in the conservation profession.

KEY WORDS

datalogger, preventive conservation, environmental monitoring, maker movement, electronics, programming

Tecnología *maker* y su aplicación en conservación

Go to English version

JULIO-DICIEMBRE 2022
JULY-DECEMBER 2022

DOI: 10.30763/Intervencion.271.v2n26.50.2022 · AÑO 13, NÚMERO 26: 71-87

Postulado: 14.01.2022 · Aceptado: 17.02.2023 · Publicado: 18.09.2023

Gustavo Lozano San Juan

Instituto de Investigaciones Estéticas (IIE),
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México
gustavolsj@gmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9593-6917>

Corrección de estilo por Alejandro Olmedo

RESUMEN

Esta INVESTIGACIÓN describe la construcción de un *datalogger* (registrador de datos o termohigrómetro digital) de humedad relativa y temperatura que, con base en las herramientas y la filosofía del movimiento *maker*, puede usarse en la conservación preventiva de bienes culturales. Se presentan los requerimientos técnicos del aparato, como: la precisión y resolución del sensor, la fuente de poder, la capacidad de memoria, la forma de acceso a los datos, la durabilidad, el tamaño y el costo.

El resultado del proyecto es un *datalogger* que, 10 veces más económico que uno comercial, brinda resultados prácticamente idénticos, con diferencias significativas en la forma de empleo por parte del usuario. La metodología aplicada destaca por ser una alternativa de bajo costo que puede adaptarse a una amplia gama de tareas y problemas en el ámbito de la conservación.

PALABRAS CLAVE

datalogger, conservación preventiva, monitoreo ambiental, movimiento *maker*, electrónica, programación

CONTEXTO

El proyecto de tecnología *maker* en conservación parte de una problemática muy común en los archivos, bibliotecas y museos de nuestro país: la falta de instrumentos metro-lógicos para el monitoreo de las condiciones ambientales de los

acervos (Subcomité de Normalización para la Preservación de Acervos Documentales, 2018, p. 11).

Tal fue el caso del Instituto de Investigaciones Estéticas (IIE) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que recientemente adquirió el archivo documental de la arqueóloga Laurette Sejourné, compuesto por dibujos, fotografías y notas de campo que documentan el trabajo que llevó a cabo en Teotihuacan a mediados del siglo xx. En ese momento, los *dataloggers*¹ con los que contaba el Instituto estaban asignados a otras áreas y no era posible adquirir equipos adicionales.

Fue así como surgió la pregunta que motiva este proyecto. ¿De qué manera se puede construir un *datalogger* utilizando los métodos y herramientas del movimiento *maker*?

EL DATALOGGER Y SU FUNCIÓN EN CONSERVACIÓN PREVENTIVA

Los factores ambientales que se registran comúnmente con un *datalogger* son la temperatura (τ) y la humedad relativa (HR), las cuales, dependiendo del tipo de bien cultural que se resguarde, pueden causar deterioros de diversos tipos. Por ello la metodología de gestión de riesgos para el patrimonio cultural (Pedersoli, Antomarchi y Michalski, 2017, p. 28) los clasifica como agentes de deterioro externos.

Para el caso de los documentos de archivo, en particular los del siglo xx,² que se componen principalmente de soportes de papel y plástico, así como de diversos tipos de elementos sustentados³ y sustancias formadoras de imagen, la interacción entre esos materiales constitutivos y los agentes ambientales pueden ser considerados de deterioro, dado que producen efectos de tipo físico, químico y biológico (Tapia y González, 2015, p. 53), que pueden causar deformaciones, cambios de color, alteración en las tintas, etcétera.

Para prevenir lo anterior los parámetros recomendados internacionalmente para el almacenamiento a largo plazo de estos materiales son de 16° C de temperatura y 60% de humedad relativa (International Organization for Standardization [ISO], 2015, p. 6), aunque algunos de ellos pueden requerir condiciones más estrictas.

¹ *Datalogger* es el término en inglés que coloquialmente se usa para referirse a un termohigrómetro digital y, correctamente, registrador, aunque su uso no es muy frecuente.

² Textos manuscritos y mecanoscritos, impresiones y negativos fotográficos, entre otros.

³ Tinta ferrogáfica, tinta china, tinta de impresión, lápiz grafito, etcétera.

Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2022
JULY-DECEMBER 2022

En México, la norma NMX-R-100-SCFI-2018, *Acervos documentales. Lineamientos para su preservación*, del Subcomité de Normalización para la Preservación de Acervos Documentales (2018, p. 38) plantea acciones que conforman un ciclo de mejora continua para el monitoreo y el control ambiental. En éste, el *datalogger* cumple una doble función, ya que inicialmente permite caracterizar las condiciones ambientales de un espacio a lo largo de un tiempo determinado y, posteriormente, hace posible la valoración permanente de las estrategias de control que se hayan implementado.

Diversos proyectos han explorado el uso de tecnologías novedosas y accesibles, como el *internet de las cosas*⁴ y el *software* de código abierto para el monitoreo de las condiciones ambientales de bienes culturales. En uno de ellos, investigadores de la universidad de Yale (Londero *et al.*, 2016) demostraron la viabilidad de la basada en el internet de las cosas para monitorear durante su exhibición los niveles de radiación visible que recibía un conjunto de miniaturas pintadas con acuarela: se preparó una red de sensores inalámbricos que, por ser muy pequeños, podían colocarse en el interior de las vitrinas para registrar, visualizar y enviar los datos a un servicio de almacenamiento en la nube. Las conclusiones del proyecto demuestran que con esa tecnología es posible fabricar dispositivos personalizados, de bajo costo y más fáciles de utilizar que los *dataloggers* disponibles comercialmente.

En otro proyecto, el Centro de Fotografía de Montevideo (Uruguay) ha montado para el monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales del archivo fotográfico, un panel de visualización de datos (Centro de Fotografía Montevideo, 2020) que utiliza el programa de código abierto⁵ Grafana (Grafana Labs, 2023), el cual dispone de una variedad de gráficas y métricas de tipo estadístico para mostrar los valores de humedad relativa, temperatura, índice de preservación e índice de preservación a través del tiempo⁶ de los diferentes espacios de almacenamiento y trabajo. Se obtiene, así, un panorama completo del desempeño de los equipos

⁴ Son objetos inteligentes para uso doméstico que cuentan con sensores, capacidad de procesamiento e interconexión y se utilizan para automatizar tareas de la vida cotidiana.

⁵ Es el tipo de permiso o licencia con el que se pone a disposición de todas las personas el *software*, *hardware* o algún otro tipo de creación para que sean aprovechados sin restricciones por otras personas e incluso empresas, con la única condición de citar a los autores originales y redistribuir las mejoras que hagan usando el mismo permiso (Open Knowledge Foundation, 2020).

⁶ Conocidos en conjunto como Preservation Metrics®, el Preservation Index y el Time Weighted Preservation Index son mediciones cuantitativas del medio ambiente, desarrolladas por el Image Permanence Institute (IPI) del Rochester Institute of Technology (RIT) para una gestión más rápida y sencilla (eClimateNotebooks. *Fundamentals*, 2019a).

de control ambiental, como enfriadores y deshumidificadores, para responder de forma inmediata en caso de que los parámetros se encuentren fuera del rango establecido.

FILOSOFÍA Y HERRAMIENTAS *MAKER*

El proyecto que aquí se presenta complementa a los anteriores, acercándose a los planteamientos del movimiento *maker* —extensión tecnológica y digital del movimiento “hágalo usted mismo (DIY, en Inglés)”—, el cual se basa en la fabricación o adaptación de dispositivos electrónicos para solucionar problemas y atender necesidades de la vida cotidiana.

Ante ellas, ese movimiento responde a una filosofía que plantea, a través del desarrollo de la creatividad, del aprendizaje colaborativo y del intercambio libre de información para el bien común, dotar a las personas de una mayor autonomía tecnológica, propone alternativas al consumo desmedido de productos comerciales diseñados para ser obsoletos en un corto tiempo y, en cambio, busca la creación y la reutilización de dispositivos personalizados económicos y sostenibles ecológicamente (Gutiérrez, 2018).

Algunas de las herramientas en las que la tecnología *maker* se apoya son la electrónica, la programación y el diseño e impresión 3D; también es común el uso de microcontroladores y *single board computers*,⁷ como las placas Arduino® y Raspberry® Pi, que pueden conectarse a gran variedad de sensores y actuadores⁸ para extender su funcionalidad en ámbitos como el arte, la ciencia y la educación, entre otros.

Arduino® es una plataforma basada en *hardware* y *software* de código abierto muy fácil de aprender y utilizar. Se compone, por un lado, de placas de desarrollo que cuentan con un microprocesador, memoria y conexiones de entrada y salida para interactuar con otros componentes, y, por el otro, de un programa para escribir las instrucciones que ejecutará el microcontrolador; el lenguaje de programación que se utiliza es una versión simplificada de C++.⁹

⁷ Son computadoras completas integradas en un solo circuito de tamaño reducido, funcionalmente sencillas, pero con el rendimiento suficiente para ser utilizadas en la enseñanza de jóvenes y niños (Kuss *et al.*, 2018).

⁸ Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, inclinación, humedad, movimiento, pH, etc. Un actuador, en cambio, es un dispositivo que recibe instrucciones de un microcontrolador y genera una acción que permite completar una tarea. Son ejemplos de actuadores: los motores leds, bombas hidráulicas o neumáticas, relevadores, cámaras digitales o térmicas, pantallas, entre otros.

⁹ Derivado del lenguaje C, su principal característica es la capacidad de trabajar con objetos.

Una gran ventaja de la plataforma Arduino® es que permite desarrollar proyectos de forma modular, esto es, se parte inicialmente de las funciones más básicas y posteriormente, si se requiere, se agrega una mayor funcionalidad. Esto es posible gracias a la existencia de gran variedad de módulos adicionales que incorporan sensores y actuadores, los cuales se acompañan, generalmente, de librerías o pequeños programas que agregan funcionalidades específicas y simplifican la escritura del código. Por todo ello, los planteamientos de la filosofía *maker* se consideraron una opción viable para solucionar una necesidad concreta de la conservación de acervos.

FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE UN *DATALOGGER*

El Subcomité de Normalización para la Preservación de Acervos Documentales define el *datalogger* como un “dispositivo electrónico que registra y almacena los valores de las condiciones ambientales por medio de sensores propios o conectados externamente” (2018, p. 4). Su funcionamiento se divide en dos fases: inicialmente, una de configuración, en la que el microcontrolador se programa con las variables¹⁰ y funciones que deberá ejecutar; la segunda es en la que se ejecutan, cada determinado tiempo, las funciones de medición y registro de los datos y en la que los usuarios interactúan con el *datalogger* (Figura 1).

Como usuarios especializados, los conservadores esperan que un *datalogger* sea al mismo tiempo confiable, durable y accesible (Arenstein y Alderson, 2011). La confiabilidad se relaciona principalmente con las especificaciones técnicas del *datalogger*, como la precisión y la resolución. Por su parte, en la durabilidad se considera tanto la vida útil como la disponibilidad de servicio técnico, primordialmente, de la calibración o sustitución del sensor. Finalmente, la accesibilidad tiene que ver con el precio, factor que define si se puede contar con uno o con varios aparatos; es común que en una institución de tamaño mediano se requieran entre cinco y diez *dataloggers*. A continuación se detallan algunas de las características deseables en medidores para el área de conservación.

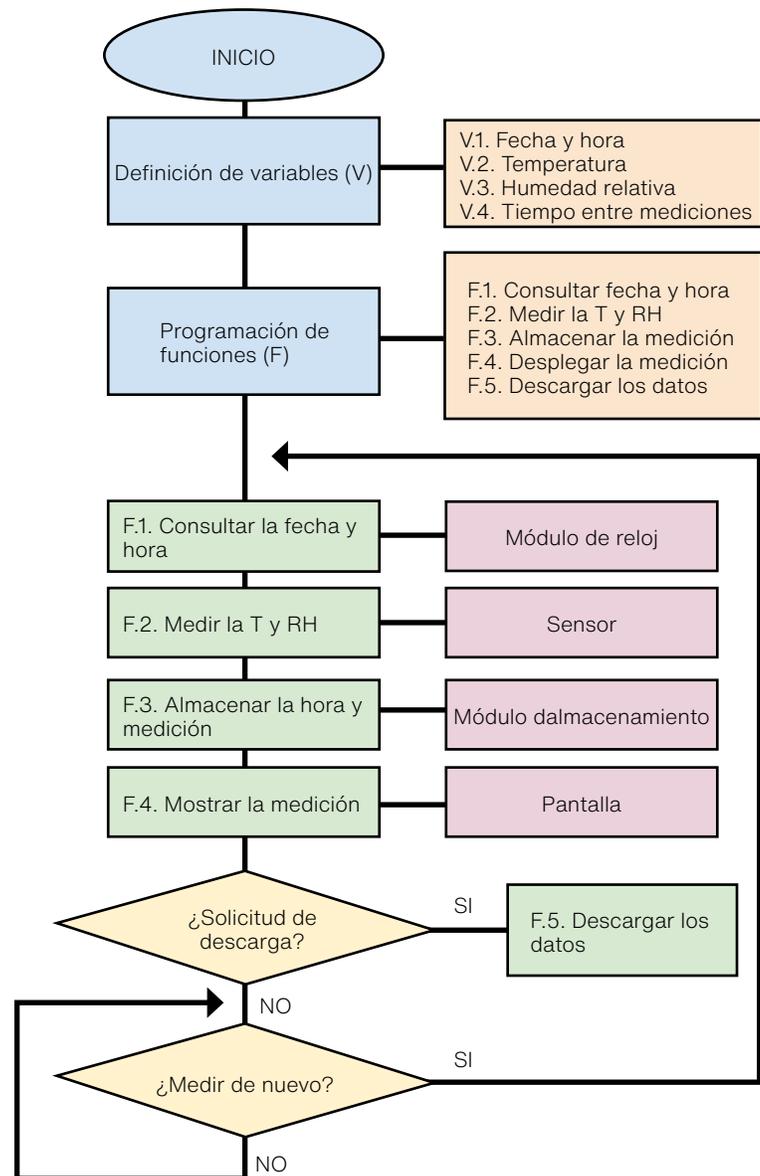
La precisión es el grado de reproducibilidad de una medición (National Instruments Corp., 2020). Aunque un sensor ideal debería responder siempre con el mismo valor ante la misma magnitud, esto no es así. Todos los sensores tienen un rango de error que se considera aceptable según la aplicación que se haga de ellos;

¹⁰ Una variable es un espacio reservado en la memoria destinado para almacenar determinados datos

Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2022
JULY-DECEMBER 2022

FIGURA 1. Flujo de funcionamiento de un *datalogger* (Esquema: Gustavo Lozano, 2023).



generalmente, el error es más pronunciado en los extremos de la escala de medición. La precisión expresa la diferencia que puede haber entre la medición y la magnitud real, por lo que, mientras menor sea este valor, la calidad del sensor será mayor. Para su empleo en conservación, una precisión de $\pm 2^\circ \text{C}$ en temperatura y $\pm 3\%$ en humedad relativa se considera adecuada (Arenstein y Alderson, 2011).

La resolución, por su parte, es el cambio mínimo de la magnitud física que es detectable por el sensor; se expresa, generalmente, como décimas o centésimas de la unidad de medición. Para un *datalogger* de conservación no es necesaria una resolución mayor a 0.1°C y 0.1% de humedad relativa.

Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2022
JULY-DECEMBER 2022

La vida útil de un *datalogger* depende de la batería que lo alimenta y de la estabilidad de su sensor a lo largo del tiempo. En los *dataloggers* más antiguos las baterías no son recargables —en los más moderno sí lo son— y tienen una duración de entre uno y tres años, dependiendo de la frecuencia en la descarga de datos y del uso de la pantalla. Las baterías que usan la mayoría de los *dataloggers* no son convencionales y pueden ser difíciles de conseguir; además, para sustituirlas es necesario retirar tornillos o forzar broches de presión para abrir el aparato, lo que en ocasiones disuade a los usuarios de cambiarlas por unas nuevas.

Por su parte, los sensores sufren degradaciones —causadas, entre otros factores, por condiciones extremas de temperatura, agentes químicos, vibraciones, campos electromagnéticos y corrientes eléctricas que dañan sus componentes— que afectan su respuesta a lo largo del tiempo.

Por ello es importante la calibración, que es la comparación entre un sensor determinado y un estándar de calibración. El estándar puede ser un aparato de medición cuya precisión es conocida, o bien, un instrumento que genera de manera controlada la magnitud que se busca medir. Los más reputados fabricantes de *dataloggers* y de sensores hacen la calibración como parte del control de calidad de sus productos y emiten un certificado que especifica el número de serie del sensor, los resultados de la comparación, la metodología que se usó, la fecha y el periodo de vigencia o garantía de esos resultados. Cuando el certificado excede el periodo de vigencia, el sensor se tiene que calibrar nuevamente, y en caso de que la precisión o la resolución rebasen los parámetros de error aceptables, debe sustituirse. En la práctica la recalibración y la sustitución del sensor casi nunca se realizan, ya sea porque los fabricantes no ofrecen el servicio, por las complicaciones que representa el envío del *datalogger* a otro país o por su alto costo, que es de alrededor de una tercera parte de un *datalogger* nuevo. Como resultado de todo esto, hay aparatos que dejan de ser confiables o que simplemente dejan de funcionar después de algunos años.

Finalmente, en cuanto al costo de un *datalogger* nuevo, existe una variedad de opciones, que van de los 3 000 a los 11 000 pesos,¹¹ lo cual depende de la calidad de los componentes, la marca

¹¹ En el texto todos los precios se expresan en pesos mexicanos y no incluyen el costo de envío. Las cotizaciones corresponden al mes de enero de 2023. El tipo de cambio actual es de 1 dólar por 18.77 pesos mexicanos. El precio del modelo EL-USB-2 de la marca Easy Log® en University Products, un proveedor en los Estados Unidos, es de 3 000 (Data Logger with USB and LCD Display, s. f.) y el precio del HOBO MX101 de la marca ONSET® con el proveedor mexicano Editorial Marco Polo es de 11 000 (Marco Polo, 2020).

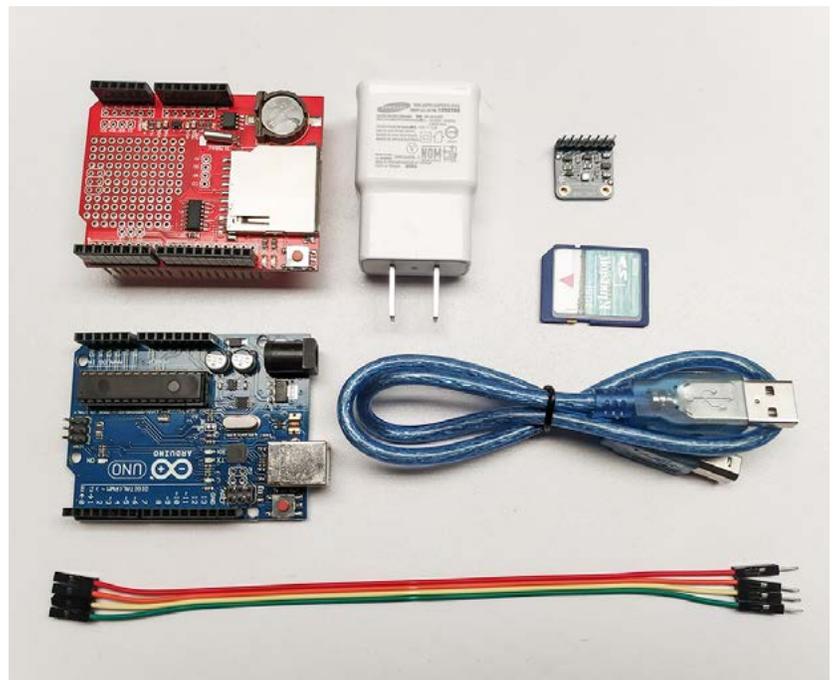
y la versatilidad de las funciones que ofrece. Así pues, la confiabilidad, la durabilidad y la accesibilidad son las categorías de análisis con las que más adelante se evaluará el resultado de este proyecto.

METODOLOGÍA

Componentes y construcción del *datalogger*

El *datalogger* que aquí se propone busca atender tanto los requerimientos técnicos como la problemática descrita en el apartado anterior. A continuación se enumeran sus componentes y se detallan las características de cada uno (Figura 2).

FIGURA 2.
Componentes
del *datalogger*
(Fotografía: Gustavo
Lozano, 2023).



Para su construcción se eligió la plataforma Arduino®, y la placa que se utilizó fue la Arduino Uno®, que es la más sencilla y común: cuenta con un procesador y memoria modestos, pero suficientes para la mayoría de los proyectos más simples. Su tamaño es 6.8 x 5.3 cm, pesa 25 g y tiene: 14 puertos de entrada y salida para la conexión de sensores, actuadores y módulos externos; un puerto usb tipo B para conectarse a la computadora, y una conexión de alimentación eléctrica de entre 7 y 12 voltios.

Debido a que se trata de *hardware* de código abierto, en el mercado hay gran cantidad de placas de diferentes fabricantes a costos muy variados; en general, su calidad y su funcionamiento son adecuados: el costo mínimo es de 150 pesos con un cable

Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2022
JULY-DECEMBER 2022

usb incluido y se puede encontrar en las tiendas especializadas en componentes y herramientas para electrónica.

También respecto de los sensores la oferta de fabricantes y precios es variada, pero en este caso es muy importante utilizar sólo aquellos que cumplan con las características descritas previamente. Las especificaciones de un sensor se pueden encontrar en su hoja técnica de datos; sin embargo, es común que algunos fabricantes reporten información que los sensores no pueden alcanzar en la vida real. Tal es el caso de la precisión de la humedad relativa en los sensores DHT11 y DHT22, que se reporta con un valor de $\pm 5\%$ pero que en su desempeño real puede llegar a ser de hasta $\pm 9\%$, por lo que, aunque son accesibles y económicos, no se aconseja su uso para aplicaciones de conservación.

Se recomienda, en cambio, el sensor marca Bosch®, modelo BME280 (Humidity Sensor BME280, s. f.) o, idealmente, el de marca Sensirion®, modelo SHT85 (SHT85 Humidity and temperature sensor, s. f.), que es de la misma familia que el sensor de humedad que utiliza el *datalogger* PEM2 fabricado por el Image Permanence Institute (IPE) (eClimate Notebook, 2019b). Aunque existen variantes de estos dos sensores, los más sencillos de utilizar son los que implementan el protocolo de comunicación I2C, que es un canal digital de conexión mediante 4 cables, dos para proveer energía y dos para la transmisión de datos. Estos sensores operan entre 3.3 y 5 V, y están montados en un módulo fácil de conectar y manipular. El costo del primero es de 400 pesos¹² y el del segundo, 800 pesos.

Los siguientes dos componentes están muy relacionados: se trata de los módulos de almacenamiento y de reloj. El primero proporciona al Arduino® una memoria no volátil¹³ para almacenar la información de las mediciones que realiza el sensor, mientras que el segundo sirve para guardar la fecha y la hora de cada medición. Ambos módulos proporcionan al microcontrolador una funcionalidad con la que no cuenta de origen, y aunque pueden comprarse por separado, en este caso se propone adquirirlos en un solo componente, llamado *datalogger shield*,¹⁴ que integra el circuito de reloj y un módulo para la lectura y escritura de tarjetas sd o microsd. El costo es de 200 pesos, con una tarjeta de 8 Gb incluida.

¹² Es de gran importancia comprar estos componentes con un proveedor de buena reputación, como Mouser Electronics y Newark, que tienen sucursales en los Estados Unidos y en México.

¹³ Significa que la información no se pierde cuando se desconecta la energía eléctrica.

¹⁴ Un *shield* es similar a un módulo; la diferencia es que no se conecta por medio de un cable, sino que se ensambla sobre la placa de Arduino a través de los puertos de entrada y de salida.

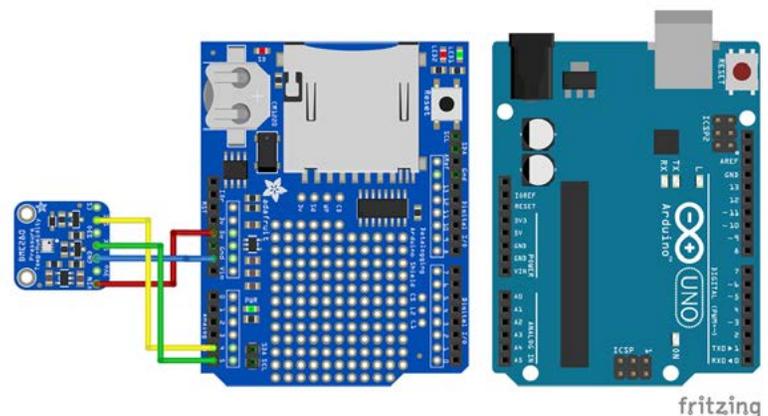
Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2022
 JULY-DECEMBER 2022

Finalmente, se requiere alimentar de energía a la placa y al resto de los componentes. Se decidió hacerlo a través del puerto USB, utilizando un cargador para celular con salida USB A de 5 V y 1 A. De esta forma, si en el espacio en el que se quiere colocar el *datalogger* no existen contactos eléctricos disponibles, se puede conectar a un banco de baterías de alta capacidad, o *powerbank*, cuyo cargador tiene un costo de alrededor de 100 pesos.

Para este proyecto se decidió no incorporar una pantalla para la visualización de datos, porque el mayor consumo energético que demanda dificulta la alimentación por medio de una batería externa, y también porque con el uso de la tarjeta se la descarga y visualización de los datos es prácticamente inmediata (Figura 3).

FIGURA 3. Esquema de conexiones realizado en el programa *Fritzing* (Esquema: Gustavo Lozano, 2023).



Las conexiones que se deben realizar entre los componentes son acoplar la placa con el *shield* y conectar el sensor a través de sus puertos SDA y SCL, que en el Arduino Uno® corresponden a las salidas A4 y A5. Además, se debe proveer la alimentación de energía al sensor a través de los puertos VCC y GND. Para todo ello se utilizaron cables Dupont del tipo hembra-macho, aunque, para una mayor seguridad, pueden soldarse.

Código

Primero es necesario instalar el *software* Arduino® IDE (Arduino, 2020), que permitirá la comunicación entre la placa y la computadora. El código se compone de tres partes: la de las librerías y variables, la de configuración y la del ciclo. Dado que el código completo es extenso, aquí únicamente se describe de manera general. La versión completa se puede descargar del repositorio

Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2022
JULY-DECEMBER 2022

[GitHub](#) de este proyecto,¹⁵ donde también se brinda una guía paso a paso para fabricar un *datalogger* totalmente funcional.

En la primera sección del código se importan las librerías que requieren los diferentes módulos, se definen las variables que almacenarán los datos que se han de utilizar y se instancian¹⁶ los objetos que permiten interactuar con los diferentes módulos; en la segunda sección se inicializan los objetos creados anteriormente, y, finalmente, en la tercera sección se definen y ejecutan las funciones en un ciclo continuo.

El *datalogger* realiza una medición cada 30' y almacena los datos en un archivo de texto con formato csv.¹⁷ Éstos se almacenan de acuerdo con la siguiente estructura: año/mes/día hora:minuto:segundo, hr, valor, τ, valor, en donde la fecha y la hora se expresan numéricamente en formato de 24 horas y los valores de humedad relativa y temperatura consisten en números con dos decimales (Figura 4). Por último, después de esperar el tiempo predefinido, se repite el ciclo de medición y almacenamiento de los datos.

FIGURA 4. Código de ejecución y texto de salida (Captura: Gustavo Lozano, 2023).

```

20 /////////////////////////////////////////////////////////////////// Sección de librerías y Variables ///////////////////////////////////////////////////////////////////
21 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
22
23 #include <SPI.h>           // SPI es el protocolo de comunicación que el módulo SD utiliza
24 #include <SD.h>           // Esta es la biblioteca que contiene las funciones del módulo SD
25 #include "RTClib.h"       // Esta es la biblioteca que contiene las funciones del módulo de reloj
26 #include <Wire.h>        // Wire o I2C es el protocolo de comunicación que el sensor BME280 utiliza
27 #include <Adafruit_Sensor.h> // Esta es una librería que contiene las funciones del sensor BME280
28 #include <Adafruit_BME280.h> // Esta es otra librería que contiene las funciones del sensor BME280
29
30 //Período de espera entre cada medición
31 //int Intervalo = 1800000; //30 MINUTOS
32
33 float bmehr_0;           // Creamos la variable bmehr_0 para almacenar la humedad relativa y
34 float bmet_0;           // Creamos la variable bmet_0 para almacenar la temperatura
35
36 int led = 13;           // Creamos la variable led y almacenamos el puerto al que se conecta el led que enciende
37 int chipSelect = 10;    // Esta es una variable relacionada con la conexión SPI del módulo SD
38
39 File      myFile;       // Es una instancia para trabajar con el archivo en el que guardaremos las mediciones
40 RTC_DS1307 rtc;        // Es una instancia para trabajar con el módulo de reloj
41 Adafruit_BME280 bme_0; // Es una instancia para trabajar con el sensor
42 // Fin de la importación de librerías y la definición de variables

```

```

Datalogger para Conservación V.1.0
Fecha y hora, Humedad relativa, Temperatura
2019/10/2 18:0:10, HR,30.24,T,23.36
2019/10/2 18:30:23, HR,34.74,T,23.62
2019/10/2 19:0:34, HR,37.00,T,23.08
2019/10/2 19:30:45, HR,36.58,T,22.90
2019/10/2 20:0:57, HR,36.42,T,22.80
2019/10/2 20:31:8, HR,36.04,T,22.80
2019/10/2 21:1:19, HR,35.92,T,22.80
2019/10/2 21:31:31, HR,35.60,T,22.80
2019/10/2 22:1:42, HR,35.56,T,22.78
2019/10/2 22:31:53, HR,35.56,T,22.72
2019/10/2 23:2:5, HR,35.88,T,22.70
2019/10/2 23:32:16, HR,36.28,T,22.64
2019/10/3 0:2:27, HR,36.98,T,22.56
2019/10/3 0:32:39, HR,37.98,T,22.46
2019/10/3 1:2:50, HR,38.42,T,22.38
2019/10/3 1:33:1, HR,38.58,T,22.30
2019/10/3 2:3:13, HR,38.64,T,22.30
2019/10/3 2:33:24, HR,38.84,T,22.22
2019/10/3 3:3:35, HR,38.92,T,22.14
2019/10/3 3:33:46, HR,38.92,T,22.06

```

¹⁵ Dos años de funcionamiento continuo al momento en que se escribe este texto.

¹⁶ En programación es la acción de crear un objeto particular a partir de un modelo general.

¹⁷ Formato de archivo para valores separados por coma; se puede abrir desde cualquier programa de hoja de cálculo o editor de texto.

Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2022
 JULY-DECEMBER 2022

FIGURA 5.
Datalogger instalado
 (Fotografía: Gustavo
 Lozano, 2023).



RESULTADOS

Mensualmente se realiza la descarga del *datalogger* y se importan los datos desde el archivo csv hacia una hoja de cálculo de Excel®; así, se obtiene una tabla en la que las filas corresponden a cada punto de medición y las columnas, a los valores de fecha y hora, humedad relativa y temperatura. Con esa información se hacen gráficas lineales que arrojan la siguiente información: la temperatura mínima en grados centígrados es de 19.8, la máxima es de 26, y el promedio, de 24.7, con una desviación estándar de 0.6, lo que significa que, aunque en general hay pocas fluctuaciones, el espacio es muy caliente, seguramente por su orientación, en dirección al sur. En cuanto a la humedad relativa, la medición mínima fue de 36% y la máxima, de 63%, con un promedio de 44.8% y una desviación estándar de 2.9%, lo que quiere decir que, aunque el espacio no es especialmente húmedo, sí existen fluctuaciones extremas en periodos cortos de tiempo. Esto se debe a que el espacio tiene ventanas y muros colindantes con el exterior, características que afectan la estabilidad de las condiciones internas (Figura 6).

Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2022
 JULY-DECEMBER 2022



FIGURA 6. Gráfica de resultados (Gráfica: Gustavo Lozano, 2023).

Basándose en esta evidencia se puede concluir que este espacio no cuenta con las condiciones ambientales recomendadas para el almacenamiento a largo plazo de documentos textuales, gráficos y fotográficos. Luego se puede argumentar que es necesario equipar y acondicionarlo para brindarle las condiciones ambientales que se requieren, o bien, trasladar el fondo a un área con condiciones más adecuadas para su conservación.

Con respecto de la confiabilidad, durabilidad y accesibilidad del *datalogger*, se puede concluir lo siguiente.

El sensor es el componente más importante y en él recae buena parte de la confiabilidad de este *datalogger*; al utilizar un sensor de buena calidad y excelente precisión y resolución, este *datalogger* casero tiene un desempeño equivalente, por una décima fracción de su costo, al de los *dataloggers* comerciales antes mencionados. Como en el caso de éstos, si bien el sensor deberá calibrarse o sustituirse después de tres años, hacerlo en el aparato casero es sumamente sencillo —cualquier persona puede hacerse cargo—, a un costo significativamente más bajo, por lo que cabe afirmar que su durabilidad será más prolongada. También es válido decir que este *datalogger* es más accesible, ya que su costo total es de 800 pesos, utilizando el sensor Bosch® BME280, que se debe importar: no obstante que eso incrementa el costo, el resto de los componentes necesarios para su construcción es mínimo y cada uno puede adquirirse localmente.

Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2022
JULY-DECEMBER 2022

Otro aspecto de la accesibilidad es el de la facilidad de su construcción; debido al reducido número de componentes que utiliza, se puede asegurar que es relativamente sencillo. Quizá el aspecto que podría resultar más complejo de replicar es la escritura del código de programación, aunque no es estrictamente necesaria, ya que con el código que aquí se comparte es posible reproducir un *datalogger* totalmente funcional.

Uno de los planteamientos del movimiento *maker* es el trabajo iterativo, es decir, la creación, uso y mejora continua de los proyectos con el objeto de perfeccionar su funcionamiento y expandir sus capacidades. Por ello la mayor ventaja de este *datalogger* es la posibilidad de modificarlo, mejorarlo y repararlo de forma sencilla. Su diseño modular permite sustituir fácilmente cualquier componente dañado, haciéndolo sostenible tanto económica como ambientalmente.

Algunas de las mejoras que se pueden implementar son: agregar una pantalla de bajo consumo para visualizar las mediciones en tiempo real; incluir un módulo de baterías para usar el aparato en lugares donde no se tiene conexión eléctrica; incorporar un módulo de comunicación inalámbrica que permita enviar alertas cuando la humedad o la temperatura rebasen determinados límites, o bien, agregar más sensores para la medición de otros agentes de deterioro, como la iluminación visible, la radiación uv o los contaminantes sólidos o gaseosos.

Este *datalogger* también tiene desventajas, que es necesario mencionar: la más importante es que, a diferencia de los comerciales, que cuentan con garantía del fabricante, la persona que lo construye debe contar con la disposición y el tiempo para supervisar su funcionamiento e investigar y solucionar los posibles errores e imprevistos que puedan presentarse. El monitoreo constante es clave para efectos de uso y manejo de este tipo de implementaciones.

CONCLUSIONES

Este proyecto demuestra que con base en los planteamientos de la tecnología *maker* es posible construir un *datalogger* confiable, durable y accesible, que puede usarse en la conservación de bienes culturales. El proceso de su fabricación puede ser replicado por otros conservadores con interés en el tema, obteniendo un aparato con un excelente costo/beneficio. Para este proyecto se consultaron diversas fuentes de información, que incluyen artículos académicos, páginas web y videotutoriales; el autor también participó en un taller práctico sobre Arduino®. En internet está dispo-

nible gran cantidad de información sobre este tema en diferentes idiomas, grados de profundidad, formatos y duración, por lo que cualquier usuario puede encontrar opciones para sus necesidades específicas.

Las herramientas y la filosofía del movimiento *maker* ofrecen una enorme gama de posibilidades en muy diversos ámbitos de aplicación, sin embargo, tampoco se debe caer en el extremo del solucionismo tecnológico: no todas las necesidades existentes pueden solucionarse a través de dispositivos electrónicos o digitales. En la práctica de la restauración existe la tradición de importar y adaptar herramientas de otras disciplinas y oficios, pero en su mayoría son manuales, que no requieren conexión eléctrica, baterías o conexión a internet, y así es como nos resultan enormemente útiles.

REFERENCIAS

Arduino. (28 de junio, 2020). Software/Arduino IDE 2.0.4. [Downloads, página web]. <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

Arenstein R. P. y Alderson, S. (2011). Datalogger applications in monitoring the museum environment, part I: Comparison of temperature and relative humidity dataloggers. *Conserve O Gram* 3/3, 1-6. National Park Service. <https://www.nps.gov/museum/publications/consveogram/03-03.pdf>

Bosch. (1 de febrero, 2023). Humidity Sensor BME280 [página web] <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/>

CdF Montevideo. (2020). Patrimonio Fotográfico en América Latina: Ana Laura Cirio (UY) [video en línea]. https://www.youtube.com/watch?v=gu_lCJJyUDM

eClimate Notebook. (2 de octubre, 2019a). Fundamentals [página web]. https://www.eclimatenotebook.com/fundamentals_nl.php

eClimate Notebook. (2 de octubre, 2019b). PEM2 Hardware Support [página web] https://www.eclimatenotebook.com/pem2_nl.php

Grafana Labs. (1 de febrero, 2023). Grafana: The open observability platform [página web]. <https://grafana.com/>

Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2022
JULY-DECEMBER 2022

Gutiérrez, R. T. (2018). La importancia de la cultura tecnológica en el movimiento maker. *ARBOR. Ciencia, Pensamiento y Cultura*, 194(789), 1-13. doi: <https://doi.org/10.3989/arbor.2018.789n3013>

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 11799. Information and documentation. Document storage requirements for archive and library materials*. Suiza: International Organization for Standardization.

Kuss, F. S., Castilho, M. A., Peres, L. M., y Silva, F. (2018). Aulacast: A Single Board Computer Platform to Support Teaching. En B. McLaren, y R. Reilly. (Eds), *Proceedings of the 10th International Conference on Computer Supported Education*, 366-373. doi:<https://doi.org/10.5220/0006776803660373>

Londero, P., Fairbanks-Harris, T. y Whitmore, P. M. (2016). An Open-Source Internet-of-Things Approach for Remote Sensing in Museums. *Journal of the American Institute for Conservation*, 55(3), 166-175. doi: <https://doi.org/10.1080/01971360.2016.1217671>

Marco Polo. (1 de febrero, 2023). Accesorios para la medición y monitoreo de la humedad [página web]. <https://www.edmarcopolo.com/control-de-medio-ambiente-87.php>

National Instruments Corp. (28 de junio, 2020.). *Sensor Terminology* [página web]. <https://www.ni.com/es-mx/innovations/white-papers/13/sensor-terminology.html>

Open Knowledge Foundation. (28 de junio, 2020). Definición de *conocimiento abierto* [web]. <http://opendefinition.org/od/2.1/es/>

Pedersoli, J., Antomarchi, C. y Michalski, S. (2017). *Guía de gestión de riesgos para el patrimonio museológico*. Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de Bienes Culturales. <https://www.iccrom.org/publication/gu%25C3%25ADa-de-gesti%25C3%25B3n-de-riesgos-para-el-patrimonio-museol%25C3%25B3gico>

Secretaría de Economía. (2018). *Norma mexicana NMX-R-100-SCFI-2018*

Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2022
JULY-DECEMBER 2022

Acervos Documentales. Lineamientos para su preservación, Subcomité de Normalización para la Preservación de Acervos Documentales. México. Secretaría de Economía. <https://bnm.iib.unam.mx/files/quienes-somos/preservacion-documental/norma-mexicana-preservacion-documental.pdf>

Sensirion. (1 de febrero, 2023). Specification SHT85, Humidity and temperature sensor. <https://sensirion.com/products/catalog/SHT85>

Tapia, P. y González, C. (2015). Documentos y obra gráfica en papel. En M. Romero. (Ed.), *Conservación de documentos analógicos y digitales* (pp. 47-82). Nerea.

University Products Inc. (1 de febrero, 2023). Data Logger with USB and LCD Display [página web]. <https://www.universityproducts.com/data-logger-with-usb-and-lcd-display.html>

SOBRE EL AUTOR

Gustavo Lozano San Juan

Instituto de Investigaciones Estéticas (IIE),
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México

gustavolsj@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9593-6917>

Licenciado en Restauración por la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía (ENCRYM) y especialista en Conservación de Fotografías por el George Eastman Museum y el Image Permanence Institute (IPI). Es responsable de la conservación de los acervos documentales del IIE y docente de la Licenciatura en Administración de Archivos y Gestión Documental, ambos en la UNAM. Es miembro del Seminario de Preservación Documental, del Grupo de Investigación en materia de Conservación del Patrimonio Fotográfico y del Subcomité de Normalización para la Preservación de Acervos Documentales. Sus principales intereses se centran en la aplicación de las técnicas y los métodos de análisis y transformación digital para la conservación, el estudio y la difusión de los acervos documentales históricos.