

# **Desarrollo de un Dispositivo Wearable para la Medición del Confort Térmico en Edificaciones**

Julio César Landa López

2024-10-10

# Tabla de contenidos

<b>Resumen</b>	<b>5</b>
<b>Abstract</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>7</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>8</b>
<b>2 Marco teórico</b>	<b>12</b>
<b>3 Desarrollo y construcción</b>	<b>13</b>
3.1 Metodología . . . . .	13
3.2 Construcción del dispositivo . . . . .	17
3.3 Programación de la interfaz y encuestas . . . . .	17
3.4 Etapa de calibración . . . . .	18
3.5 Etapa de conexión IoT . . . . .	18
<b>4 Conclusiones</b>	<b>19</b>
4.1 Discusión . . . . .	19
4.1.1 Interpretación de los resultados . . . . .	19
4.1.2 Contribuciones y limitaciones . . . . .	19
4.2 Conclusiones . . . . .	19
<b>Referencias</b>	<b>20</b>

## Listado de Figuras

# Listado de Tablas

3.1	Placas de desarrollo . . . . .	14
3.2	Características ESP32S3 . . . . .	15
3.3	Pantallas . . . . .	16
3.4	Baterías . . . . .	16
3.5	Sensores de temperatura . . . . .	17

# Resumen

# Abstract

# Agradecimientos

Poner atención en el título, no convence “Medición de confort térmico”, no se puede medir el confort térmico

# 1 Introducción

El reporte de Cambio Climático 2023 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) advierte sobre un probable aumento en la temperatura superior a 1.5°C entre los años 2021 y 2040, alcanzando hasta los 5.7°C para 2100 (Synthesis Report 2023). Para limitar este calentamiento, es imprescindible una reducción drástica de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). Estas emisiones deben alcanzar su máximo antes del año 2025 y luego disminuir en un 43% para el año 2030, llegando a cero neto para el año 2050, conforme los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (2015).

Las emisiones de GEI generadas por el uso de energía representan el 73.2% a nivel global, y el uso de energía en edificaciones constituye el 17.5%, desglosado en un 6.6% en edificaciones no residenciales y un 10.9% en edificaciones residenciales (Ritchie 2020). En México, el sector residencial, comercial y público representa el 17.16% del consumo final de energía, de los cuales el 34.29% corresponden a consumo eléctrico (Secretaría de Energía 2023). En materia de eficiencia energética, el principal desafío que enfrentan los edificios no residenciales en México es su uso intensivo de electricidad (Lorentzen y McNeil 2020).

La eficiencia energética desempeña un papel crucial en la lucha contra el cambio climático al optimizar el uso de recursos. Avanzar hacia la eficiencia energética implica reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo cual favorece la descarbonización del sistema energético. Las fuentes de energías renovables pueden ser un aliado valioso en el camino a la eficiencia energética.

Además, es importante destacar que una parte esencial en la búsqueda de la eficiencia energética en edificaciones es la aplicación de estrategias de diseño bioclimático. Estas consisten en el diseño de la edificación de acuerdo al clima del lugar donde estará construida (Olgyay et al. 1963). Esto propicia tener espacios que satisfagan las necesidades y expectativas de los ocupantes, proporcionando condiciones de confort térmico para una mejor calidad de vida y productividad.

La digitalización energética tiene como objetivo contribuir a la eficiencia energética y la fiabilidad del sistema energético en su conjunto mediante el análisis de datos y la integración de tecnologías digitales en la producción, almacenamiento, distribución y consumo de energía. Esto implica el uso de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA) o el internet de las cosas (IoT) (Olabi, Abdelkarem, y Jouhara 2023). Esto favorece indirectamente a la sustentabilidad al respaldar la eficiencia energética y fortalecer la fiabilidad del sistema energético.



Si bien la digitalización energética es prometedora en este sentido para la eficiencia energética y la descarbonización, también presenta desafíos debido a que se espera un aumento en la demanda de energía a nivel global (Mitigation of Climate Change 2022). Para poder llevar a cabo un proceso de digitalización energética adecuado que permita lograr los objetivos de descarbonización, se debe buscar una democracia energética con tres perspectivas clave: soberanía popular, un gobierno participativo y propiedad civil (Judson, Fitch-Roy, y Soutar 2022).

En la búsqueda de un futuro sustentable, la transición hacia fuentes de energía renovables, tecnologías eficientes, edificaciones sustentables y una democracia energética son de vital importancia; aunado a la creciente necesidad de abordar la crisis climática, el consumo energético de edificaciones requiere de acciones inmediatas.

El confort térmico se define como una condición mental que expresa la satisfacción con el ambiente, y es un juicio cognitivo influenciado por procesos físicos, fisiológicos y otros factores (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2017). Desempeña un papel esencial en el consumo de energía en edificaciones, pues está intrínsecamente ligado a la forma en que diseñamos las edificaciones. Una gran parte del consumo de energía en estas se ocupa en mantener condiciones óptimas de iluminación, temperatura y humedad del aire, buscando obtener espacios con condiciones adecuadas para que los ocupantes se encuentren confort térmico, lumínico y acústico.

Para el confort térmico se toman en cuenta siete variables físicas, las cuales están relacionadas a la transferencia de calor entre el ocupante y su entorno, así como a los modelos de predicción de confort térmico. Estas variables incluyen la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire, temperatura radiante, presión atmosférica, aislamiento térmico de la ropa y nivel metabólico del ocupante (Enescu 2017). Asimismo, existen variables fisiológicas altamente relacionadas con el confort térmico que pueden servir como indicadores, tales como la temperatura de la piel, la frecuencia cardíaca y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (Bogatu et al. 2023).

Durante la fase de diseño de una edificación, el empleo de modelos predictivos de confort térmico se convierte en una herramienta esencial para desarrollar estrategias efectivas de diseño bioclimático. Además, es crucial realizar encuestas de evaluación durante la ocupación para determinar el nivel de confort térmico y evaluar la efectividad de las estrategias implementadas durante la fase de diseño. Estas encuestas se basan principalmente en cuestionarios destinados a recabar la opinión de los ocupantes sobre su experiencia ambiental, mientras que las mediciones experimentales de las variables físicas que inciden en el entorno sirven como un respaldo fundamental (Aguirre 2021).

En este contexto, la transición hacia edificaciones sustentables no se trata solo de reducir el consumo energético, sino de hacerlo de manera eficiente sin comprometer el confort térmico, acústico y lumínico.

Existen diversos modelos que se utilizan para la predicción del confort térmico en edificaciones. Estos modelos se clasifican comúnmente en dos categorías: para edificaciones con sistemas de aire acondicionado y para edificaciones sin este tipo de sistemas. Entre los modelos para edificaciones con sistemas de aire acondicionado, el modelo más utilizado es el conocido como

método Fanger, este método se basa en las variables físicas relacionadas al confort térmico mencionadas previamente. Estas variables se utilizan en ecuaciones para calcular el índice de sensación térmica (PMV por sus siglas en inglés) y el porcentaje de personas insatisfechas (PPD por sus siglas en inglés) (Fanger 1970). Mientras que para los sistemas sin aire acondicionado existen algunos modelos como el PMV adaptativo o el PMV extendido (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2017), entre otros, los cuales, se explicaran más a detalle en el siguiente capítulo.

Un problema es la precisión de los modelos existentes como el caso del método Fanger (PMV-PPD), un estudio realizado por Cheung et al. (2019) donde se determina la precisión del modelo con la base de datos de confort térmico global del ASHRAE, reporta que el PMV tiene una precisión del 34% respecto a la sensación térmica observada, mientras que el PPD puede llegar a sobrestimar la insatisfacción de los ocupantes. Esto da pie a continuar con la investigación y desarrollo de más modelos, como el caso de la implementación de algoritmos de aprendizaje automático.

En años recientes se han utilizado nuevas herramientas como el caso de los dispositivos wearables para el desarrollo de modelos de confort, la implementación de dichos dispositivos con sensores integrados, tienen la capacidad de medir variables ambientales y fisiológicas que permiten generar bases de datos que incluyan datos fisiológicos de los ocupantes y la obtención de modelos de confort más precisos.

En esta tesis se presenta el desarrollo de un prototipo de wearable con software y hardware libres que recopile y envíe datos sobre encuestas de confort térmico e información extra de variables fisiológicas a una plataforma de IoT, con el fin de crear una base de datos que permita el desarrollo de modelos de confort térmico. A continuación se presenta las contribuciones de este proyecto.

**Medición precisa y en tiempo real de variables fisiológicas:** El uso de un dispositivo wearable permite la captura directa de variables fisiológicas relacionadas al confort térmico, como la temperatura corporal y la frecuencia cardíaca.

**Monitoreo continuo y no intrusivo:** Al ser un dispositivo portable y de uso constante, este permite el monitoreo continuo y no intrusivo de las variables fisiológicas mencionadas previamente, facilitando la recopilación de datos a lo largo del tiempo, lo cual es fundamental para el análisis de patrones y tendencias en el confort térmico.

**Encuestas de confort térmico simplificadas:** La función de encuestas periódicas de confort térmico es una de las partes más importantes en el desarrollo del dispositivo para la creación de una base de datos. Estas encuestas permiten al usuario evaluar su nivel de confort térmico de manera rápida y sencilla.

**Contextualización de los datos de confort térmico:** Al integrarse el dispositivo a la red de Internet de las Cosas del Instituto de Energías Renovables junto con los demás dispositivos de medición de variables físicas previamente instalados en el instituto, permite contextualizar los datos de confort térmico del usuario en relación con las condiciones ambientales del entorno.

**Potencial desarrollo de modelos de confort térmico:** El desarrollo de este proyecto a un futuro puede tomar dos vertientes. Una en donde se puedan generar modelos de confort personalizados para cada individuo, favoreciendo a la digitalización energética y la automatización de espacios. Y la otra vertiente para generar modelos predictivos de confort térmico contextualizados para la comunidad del instituto.

## 2 Marco teórico

– Aquí van todos los antecedentes de confort térmico, ya están en el archivo estado.qmd –

## 3 Desarrollo y construcción

Texto introductorio del capítulo.

### 3.1 Metodología

#### 1. Descripción general del dispositivo:

El dispositivo presentado en esta tesis es un prototipo de reloj inteligente diseñado específicamente para la investigación en el ámbito del confort térmico. Este dispositivo permite la recopilación de datos fisiológicos, tales como la frecuencia cardíaca y la temperatura de la piel, variables cuya relación con el confort térmico se discutió en el capítulo anterior. Además, este dispositivo realiza encuestas periódicas simplificadas de confort térmico mediante una interfaz de usuario intuitiva, que permite responder la encuesta de forma rápida y sencilla. La recopilación de estos datos se realiza en la plataforma de IoT llamada ThingsBoard, lo que permite la creación de una base de datos de confort térmico en un bioclima cálido semihúmedo (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (Infonavit) 2024) en Temixco, Morelos. Esta base de datos facilitará estudios para el entendimiento del confort térmico y el desarrollo de modelos de confort para este tipo de bioclima, así como de modelos de confort personalizados.

#### 2. Selección de componentes

Para asegurar el funcionamiento preciso y adecuado del dispositivo fue fundamental la correcta elección de todos los componentes. A continuación se describen los principales componentes utilizados, sus características y justificación para el proyecto, basada en criterios como la compatibilidad, consumo de energía, precisión y capacidad de procesamiento en el caso del microcontrolador.

Los componentes principales descritos son los siguientes:

- Placa de desarrollo
- Pantalla
- Batería
- Sensores

Escoger la tarjeta o placa de desarrollo fue una de las partes cruciales en el desarrollo del proyecto, se necesitaba una placa de tamaño reducido que cumpliera con las características requeridas: conexión Wifi, velocidad de procesamiento, memoria, comunicación I2C...

Se buscaron placas con microcontroladores que fueran reducidas de tamaño pero con conectividad inalámbrica. Estas características nos las ofrecen microcontroladores como los de Arduino, ESP y Raspberry. La Tabla 3.1 muestra una comparativa básica de algunas placas con estos microcontroladores.

Es importante mencionar que dentro de esta búsqueda se encontraron algunas placas que ya tenían integrada una pantalla LCD, lo cual podría significar una ventaja, sin embargo el microcontrolador RP2040 no cuenta con conectividad Wifi o Bluetooth, y la tarjeta LILYGO cuenta con una pantalla que no es táctil, lo que representa una desventaja para la realización de las encuestas de confort.

Tabla 3.1: Placas de desarrollo

Placa de desarrollo	Wifi	Bluetooth	Comunicación	Cable	Pines
Arduino Nano 33 IoT	si	4.2	SPI, I2C, I2S, UART	Micro USB	14 d, 6 pwm
Arduino nano 33 BLE sense	no	5	UART, SPI, I2C	Micro USB	14 d-pwm
Arduino nano esp32	si	LE	UART, I2C, SPI, I2S, CAN(TWAI)	USB C	
Arduino nano RP2040 connect	si	si	STI, I2C, I2S, PIO, UART	USB C	22 d, 2o pwm
Raspberry pi pico W	si	5.2	UART, I2C, SPI	Micro USB	26 d, 16 pwm
ESP32 pico kit	si	si	I2C, I2S, SPI	Micro USB	34 gpios
Seeed Studio XIAO nRF52840 Sense	nfc	5	1xUART, 1xIIC, 1xSPI, 1xNFC, 1xSWD	USB C	11xGPIO(PWM), 6xADC
Seeed Studio XIAO ESP32C3	si	5	1x UART, 1x IIC, 1x SPI	USB C	11x GPIO(PWM), 4x ADC
Seeed Studio XIAO ESP32S3	si	5	1x UART, 1x IIC, 1x SPI	USB C	11x GPIO(PWM), 9x ADC
MCU RP2040 con LCD redondo de 1,28 pulgadas	no	no	rp2040	USB C	rp2040
LILYGO TTGO	si	si	esp32	USB C	esp32

Tras investigar más a detalle las especificaciones de las placas, se elogió la Seeed Studio XIAO ESP32C3. Esta tarjeta se adapta a las necesidades por tener diferentes modos de bajo consumo, conectividad Wifi, tamaño reducido y memoria suficiente. En la Tabla 3.2 se muestran las características de dicha tarjeta.

También puede ser usada la tarjeta XIAO ESP32S3 que se adapta sin ningún problema al proyecto, la principal diferencia es que esta tiene mayor memoria que la XIAO ESP32C3, sin embargo, su costo es más elevado.

Tabla 3.2: Características ESP32S3

Parameter	Seeed Studio XIAO ESP32S3
Processor	ESP32-S3R8Xtensa LX7 dual-core32-bit processor running up to 240 MHz
Wireless	Complete 2.4GHz WiFi subsystemBLE: Bluetooth 5.0, Bluetooth mesh
On-chip Memory	8M PSRAM & 8MB Flash
Interface	1x UART, 1x IIC, 1x IIS, 1x SPI, 11x GPIO(PWM), 9x ADC, 1x User LED, 1x Charge LED 1x Reset button, 1x Boot button
Dimensions	21 x 17.5mm
Power	Input voltage (Type-C): 5V Input voltage (BAT): 4.2V Circuit operating Voltage (ready to operate):- Type-C: 5V@19mA - BAT: 3.8V@22mA Charging battery current: 100mA
Low Power Consumption Model (Supply Power: 3.8V)	Modem-sleep Model: ~ 25 mA Light-sleep Model: ~ 2mA Deep Sleep Model: ~ 14 A
WiFi Enabled Power Consumption	Active Model: ~ 100 mA
BLE Enabled Power Consumption	Active Model: ~ 85 mA
Working Temperature	-40°C ~ 65°C

Para la elección de la pantalla se realizó una búsqueda priorizando que esta fuera de tamaño reducido y adaptable a la placa de desarrollo seleccionada.

En la Tabla 3.3 se muestran las características básicas de las pantallas encontradas.

Tabla 3.3: Pantallas

Pantalla	touchscreen	tecnología	dimensión
Seeed Studio Round Display for XIAO	si	TFT LCD	1.28''
Waveshare Módulo de visualización	no	OLED RGB	1.5''
GC9A01 Pantalla	no	TFT LCD	1.28''

La pantalla elegida fue la Seeed Studio Round Display for XIAO. La marca Seeed Studio ha desarrollado todo un ecosistema de hardware pensando en dispositivos portátiles y de tipo wearables. Su pantalla se adapta perfectamente a la placa de desarrollo, además de tener un display redondo y táctil, lo cual se ajusta bastante bien a lo necesitado para el proyecto.

El uso de baterías de Ion de Polímero de Litio (LiPo) es muy común en los dispositivos portátiles, esto debido a su reducido tamaño, peso y facilidad de carga. La capacidad mínima de carga requerida para la placa de desarrollo en conjunto con la pantalla es de 500 mAh (cita del datasheet de la pantalla). Una batería más pequeña si bien sería un beneficio por su tamaño, implicaría una duración muy limitada. En la Tabla 3.4 se muestran las características de 7 baterías de diferente capacidad que tiene dimensiones reducidas y podrían adaptarse al dispositivo.

Tabla 3.4: Baterías

tipo	voltaje	capacidad	potencia	dimensiones
LiPo	3.7	60 mAh	0.22 Wh	22x11.5x4 mm
LiPo	3.7	130 mAh	0.48 Wh	30x15x3.5 mm
LiPo	3.7	250 mAh	0.93 Wh	20x30x5 mm
LiPo	3.7	400 mAh	1.48 Wh	35x20x6 mm
LiPo	3.7	650 mAh	2.41 Wh	40x20x8 mm
LiPo	3.7	1000 mAh	3.7 Wh	50x34x5 mm

Para asegurar un correcto funcionamiento del dispositivo, se eligió una batería con una capacidad de 650 mAh. Esta capacidad de carga no solo cumple con los requisitos mínimos de energía especificados en la hoja de datos del microcontrolador y la pantalla, si no que, da un margen adicional en la duración de la batería. Además de tener un tamaño adecuado para no afectar el diseño del dispositivo.

Existen 3 tipos diferentes de sensores por su funcionamiento para medir temperatura, estos son:

- Termopares
- Termistores
- Sensores RTD



Siendo los termistores los más utilizados en aplicaciones de la salud, como por ejemplo medir la temperatura corporal o la temperatura de la piel en algún punto. Un termistor es una resistencia eléctrica que cambia su valor dependiendo de la temperatura a la que esté expuesta, existen termistores tipo PTC que son de respuesta positiva, es decir, aumenta su resistencia cuando hay un aumento en la temperatura, de manera análoga existen los termistores tipo NTC.

Se realizó una búsqueda de diferentes termistores que pudieran ser útiles. Estos sensores son analógicos, sin embargo existen circuitos integrados que pueden convertir las señales de este sensor en digitales. La Tabla 3.5 muestra algunos de estos sensores con sus características básicas.

Tabla 3.5: Sensores de temperatura

Sensor	tipo	rango	valor	potencia	precisión	resolución
temistor NTC MF52AT	analógico	-40 C a 120 C	1k hasta 100k	0.5 W		
HiLetgo 2 unidades AHT20	digital (I2C)	-40 C a 85 C			0.3 C	0.01 C
HiLetgo SHT31-D	digital (I2C)	-40 C a 125 C			0.3 C	
AHT10	digital (I2C)	-40 C a 85 C			0.3 C	0.01 C

### 3. Diseño del dispositivo

## 3.2 Construcción del dispositivo

Detallar cuales son los pasos para construir el dispositivo, tips, errores comunes.

## 3.3 Programación de la interfaz y encuestas

1. Desarrollo del firmware: describe el desarrollo de la interfaz
2. Implementación de la encuesta: Explica detalladamente la encuesta y porque se eligieron esos preguntas

### **3.4 Etapa de calibración**

1. Calibración de los sensores

### **3.5 Etapa de conexión IoT**

1. Integración con la plataforma

## **4 Conclusiones**

### **4.1 Discusión**

#### **4.1.1 Interpretación de los resultados**

#### **4.1.2 Contribuciones y limitaciones**

### **4.2 Conclusiones**

## Referencias

- Aguirre, Verónica Ivette Calixto. 2021. «Thermal comfort studies». Universidad Nacional Autónoma de México. <http://132.248.9.195/ptd2021/septiembre/0814603/Index.html>.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2017. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ASHRAE Standard 55-2017. American Society of Heating, Refrigerating; Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Bogatu, Dragos Ioan, Jun Shinoda, José Joaquín Aguilera, Bjarne W. Olesen, Futa Watanaabe, Yosuke Kaneko, y Ongun B. Kazanci. 2023. «Human physiology for personal thermal comfort-based HVAC control – A review». *Building and Environment* 240 (julio): 110418. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2023.110418>.
- Cheung, Toby, Stefano Schiavon, Thomas Parkinson, Peixian Li, y Gail Brager. 2019. «Analysis of the accuracy on PMV – PPD model using the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II». *Building and Environment* 153: 205-17. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.055>.
- Enescu, Diana. 2017. «A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79 (noviembre): 1353-79. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.05.175>.
- Fanger, P. O. 1970. *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press. <https://archive.org/details/thermalcomfortan0000fang>.
- Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (Infonavit). 2024. «Listado de Regiones Bioclimáticas». [https://portalmx.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/005dcf74-d918-41aa-acfa-927e7b33d98a/12.%2BAnexo%252B1.%252BListado%252Bde%252Bregiones%252Bbioclim%25C3%25A1ticas.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT\\_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-005dcf74-d918-41aa-acfa-927e7b33d98a-mmCFC0](https://portalmx.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/005dcf74-d918-41aa-acfa-927e7b33d98a/12.%2BAnexo%252B1.%252BListado%252Bde%252Bregiones%252Bbioclim%25C3%25A1ticas.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-005dcf74-d918-41aa-acfa-927e7b33d98a-mmCFC0).
- Judson, Emily, Oscar Fitch-Roy, y Iain Soutar. 2022. «Energy democracy: A digital future?». *Energy Research and Social Science* 91 (septiembre). <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102732>.
- Lorentzen, Diego M. P. Chatellier, y Michael A. McNeil. 2020. «Electricity demand of non-residential buildings in Mexico». *Sustainable Cities and Society* 59 (agosto). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102165>.
- Mitigation of Climate Change, Climate Change 2022 -. 2022. «Mitigation of Climate Change Climate Change 2022 Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change». <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/uncertainty-guidance-note.pdf>.
- Olabi, A. G., Mohammad Ali Abdelkarem, y Hussam Jouhara. 2023. «Energy digitalization:

- Main categories, applications, merits, and barriers». *Energy*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126899>.
- Olgyay, V., D. Lyndon, J. Reynolds, y K. Yeang. 1963. *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism - New and expanded Edition*. Princeton University Press. <https://books.google.com.mx/books?id=RRQ-CgAAQBAJ>.
- Organización de las Naciones Unidas. 2015. «Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development». <https://digitallibrary.un.org/record/3923923>.
- Ritchie, Hannah. 2020. «Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from?» *Our World in Data*.
- Secretaría de Energía. 2023. «Balance Nacional de Energía Preliminar 2022». [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/841526/BNE\\_2022.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/841526/BNE_2022.pdf).
- Synthesis Report, Climate Change 2023: 2023. «IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.» Editado por Paola Arias, Mercedes Bustamante, Ismail Elgizouli, Gregory Flato, Mark Howden, Carlos Méndez-Vallejo, Joy Jacqueline Pereira, et al. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.