

Gestión con termografía infrarroja para instituciones públicas en tiempos de pandemia COVID-19¹

Carlos Vázquez-Cid de León², Salvador Montesinos-González³, Armin Trujillo-Mata⁴

Resumen

Introducción. Desde el 2020 las instituciones de educación en México se enfrentaron a un reto tan complicado por la ola de contagios de COVID-19, que la mayoría de las escuelas optaron por cerrar sus instalaciones y ofrecer su servicio de educación a distancia. Sin embargo, hubo un impacto negativo que fue sumamente notorio al impedir a los estudiantes la práctica en laboratorios, talleres, e inclusive, se suspendió la interacción personal, lo que generó múltiples fenómenos como depresión, rezago académico, ausentismo y deserción, entre otros casos más. Estos eventos hicieron que se buscaran diversas alternativas para un regreso a clases seguro. **Objetivo.** Desarrollar las estrategias para el ingreso a instituciones públicas en tiempos de COVID-19, aplicando un sistema de seguridad mediante el uso de la tecnología de la termografía infrarroja. **Materiales y métodos.** Se empleó una

metodología cuantitativa, transaccional experimental, se empleó la termografía infrarroja como tecnología para aduanas sanitarias y gestión de temperaturas de una comunidad universitaria. De esta manera, se pudo prevenir contacto entre personas con riesgo de contagio y evitar su contacto con personas sanas. **Resultados.** Se deben considerar medidas de inocuidad con el fin de lograr un ambiente de tranquilidad, reducción de la percepción de incertidumbre y estrés, además de que no hubo contagios masivos al grado de no tener que suspender actividades académicas. **Conclusiones.** El incrementar la seguridad en el ingreso, así como poder brindar espacios confiables, son de gran apoyo para el bienestar de las comunidades universitarias.

Palabras clave: termografía; instituciones; públicas; privadas; universidades; educación; COVID-19; México.

1 Artículo original derivado del proyecto de investigación *Termografía aplicada para la gestión de la comunidad universitaria en tiempos de pandemia COVID 19*, ejecutado entre enero de 2020 y julio de 2022, financiado por los autores.

2 Doctor en Ciencias de la Administración. Profesor-investigador de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, adscrito al Instituto de Ingeniería Industrial y Automotriz, miembro del SNI. Correo: carlosvazquezc@mixteco.utm.mx / ORCID: 0000-0003-2067-0565

3 Doctor en Ciencias de la Administración. Profesor-investigador de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, adscrito al Instituto de Ingeniería Industrial y Automotriz, miembro del SNI. Correo: smontesinos@mixteco.utm.mx / ORCID: 0000-0001-6006-7790

4 Doctor en Alta Dirección. Profesor-investigador en la Universidad Veracruzana. Correo: armtrujillo@uv.mx / ORCID: 0000-0002-8626-962X

Autor para Correspondencia: Carlos Vázquez Cid de León, carlosvazquezc@mixteco.utm.mx

Recibido: 11/08/2022 Aceptado: 22/05/2023

*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

Management with infrared thermography for public institutions in times of the COVID-19 pandemic

Abstract

Introduction. Since late 2020, educational institutions in Mexico have faced to a complicated challenge because of the wave of COVID-19 infections, causing most schools to close their facilities and offer their distance education service. However, there was a negative impact that was highly evident: not allowing students to practice in laboratories, workshops, and even personal interaction was suspended. This event generated diverse phenomena such as depression, academic lag, absenteeism, and desertion, among other cases. These events in turn, led to the search for alternatives for a safe return to school. **Objective.** Develop strategies for entering public institutions in

times of COVID-19, applying a safety system using infrared thermography technology. **Materials and methods.** A quantitative, experimental transactional methodology was needed, as well as infrared thermography that was used for sanitary filters and temperature management of a university community. In this way, it was possible to prevent contact between people at risk of transmission and avoid contact with healthy people. **Results.** It is highly recommended to consider innocuousness measurements in order to achieve a calm environment, a reduction in the perception of uncertainty and stress, in addition to the fact that there were no massive transmissions of COVID, without suspending the academic activities. **Conclusions.** Increasing safety at admission, as well as being able to provide reliable spaces, are crucial for promoting the well-being of university communities.

Keywords: Thermography; Institutions; Public; Private; Universities; Education; COVID-19; Mexico.

Gestão com termografia infravermelha para instituições públicas em tempos de pandemia do COVID-19

Resumo

Introdução. Desde 2020, as instituições educacionais no México enfrentam um desafio tão complicado devido à onda de infecções por COVID-19, que a maioria das escolas optou por fechar suas instalações e oferecer seu serviço de educação a distância. No entanto, houve um impacto negativo extremamente perceptível ao impedir que os alunos praticassem em laboratórios, oficinas, e até mesmo a interação pessoal foi suspensa, o que gerou múltiplos

fenômenos como depressão, defasagem acadêmica, absenteeismo, deserção, entre outros casos. Esses acontecimentos levaram à busca de diversas alternativas para um retorno seguro às aulas. **Objetivo.** Desenvolver estratégias de ingresso nas instituições públicas em tempos de COVID-19, aplicando um sistema de segurança através do uso da tecnologia de termografia infravermelha. **Materiais e métodos.** Foi utilizada uma metodologia quantitativa, experimental transaccional, a termografia infravermelha foi utilizada como tecnologia para costumes sanitários e gestão de temperatura de uma comunidade universitária. Desta forma, foi possível prevenir o contacto entre pessoas em risco de contágio e evitar o contacto com pessoas saudáveis. **Resultados.** Medidas de segurança devem ser consideradas para

alcançar um ambiente de tranquilidade, redução da percepção de incerteza e estresse, além do fato de não haver infecções massivas a ponto de não ter que suspender as atividades acadêmicas. **Conclusões.** Aumentar a segurança na entrada, pois além de serem capazes de fornecer espaços confiáveis,

são de grande ajuda para o bem-estar das comunidades universitárias.

Palavras-chave: Termografia; Instituições; Público; Privado; Universidades; Educação; COVID-19; México.

Introducción

En diciembre de 2019 se difundió una noticia respecto a un brote de una enfermedad que causaba neumonía fulminante, se reportó que fue en un mercado en Wuhan, provincia de Hubei, China, con una población promedio de once millones. La pandemia de COVID-19, causada por una cepa mutante del coronavirus SARS-CoV-2, ha provocado graves crisis económicas, sociales y sanitarias en todo el mundo. A fines de diciembre de 2019, Hubei había informado veintisiete casos de SARS-CoV-2.

El primer caso fue descrito el 8 de diciembre 2019, el 7 de enero 2020 el Ministerio de sanidad de China identificó un nuevo coronavirus (nCoV) como posible etiología (Ministerio de Sanidad de España, 2020), al 24 de enero en China se habían reportado 835 casos con 534 de Hubei y en el transcurso de las semanas se extendió a otras partes de China (Organización Panamericana de la Salud, 2020). El 13 de enero se reportó el primer caso en Tailandia (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2020a), el 19 de enero se reportó un primer caso en Corea del Sur y luego en varios países del mundo por lo que se reconoció desde marzo de 2020 una nueva pandemia mundial (OMS, 2020b). Esta serie de eventos confirmó una emergencia de salud pública de importancia internacional (Mojica y Morales, 2020; World Health Organization, 2020).

Una vez aceptado el coronavirus como una pandemia, comenzó la difusión de noticias sobre los coronavirus que se clasifican en cuatro grupos principales: alfa-coronavirus, beta-coronavirus, gamma-coronavirus y delta-coronavirus. Los alfa-coronavirus (HCoV-NL63 y HCoV-229E) y los beta-coronavirus (HCoV-HKU1, SARS-CoV, MERS-CoV y HCoV-OC43) generalmente causan enfermedades respiratorias en humanos y gastroenteritis en animales. Autores como Lim *et al.* (2016) y Cui *et al.* (2019) afirman que el actual SARS-CoV-2 hace parte de los beta-coronavirus y su secuencia genética tiene más del 80 % de identidad con el SARS-CoV y del 50 % con el MERS-CoV de acuerdo con Rothan y Byrareddy (2020) y Yu *et al.* (2020). Son causantes de epidemias e infecciones respiratorias graves alude Gralinski y Menachery (2020) y de igual manera lo afirman Liu y Saif (2020), mientras que su evolución es expuesta por Cui *et al.* (2019). El periodo de incubación del virus se estimó entre cuatro y siete días, pero el 95 % de los casos fue de doce días, sin embargo, basados en otros estudios de casos de Europa, podría ser de dos a catorce días (Maguiña *et al.*, 2020) y se manifiesta comúnmente con fiebre, cansancio, tos seca y dificultades para respirar. Las complicaciones pueden incluir diversas secuelas y padecer un síndrome respiratorio agudo.

El virus se transmite generalmente de una persona a otra por medio de gotas de *Flügge* conocidas como microgotas de saliva o moco que se emiten al hablar, estornudar, toser o

exhalar, por lo que es más fácil de difundir cuando las personas están en contacto cercano (Zhou *et al.*, 2020). Sin embargo, también se difunde al tocar una superficie contaminada y luego tocarse los ojos, nariz o la boca; existe menor riesgo de contagio a partir de un metro en adelante. Además, haciendo uso de un cubre bocas o careta se reducen los riesgos de contagio (Sohrabi *et al.*, 2020); esto es porque las gotas de *Flügge* no pueden mantenerse suspendidas en el aire y tienden a precipitarse en alguna superficie (Chu *et al.*, 2020).

De acuerdo con Our World in Data (2022) al día 12 de abril de 2022 se habían registrado en el mundo alrededor de 180 millones de casos de coronavirus SARS-CoV-2. Por otro lado (Orús, 2023), reporta con la misma fecha a EE. UU. en el primer lugar en muertes, seguido por Brasil e India, y desafortunadamente México con un total de 323.848 mil, es importante este tipo de investigaciones ya que está costando muchas vidas a nivel nacional e internacional, no actuar está costando vidas de niños inocentes, jóvenes estudiantes, profesores, padres de familia y demás personas que están muriendo sin distinción.

Respecto a las vacunas y su costo, la más cara es CNBG con rangos que van de 15,62 euros hasta 36,96 euros por dosis, así como la de Astra Zeneca, la cual tiene un costo de 1,73 a 4,41 euros por dosis. Sin embargo, existen variedades en cuanto a marcas de vacunas por ejemplo Pfizer, Moderna, Janssen, Sinovac, Novavax, CureVac, Nanogen, Sanofi, por mencionar las más populares. Referente al número de millones de dosis aplicadas por marca de vacuna, en primer lugar, esta Pfizer con más de 200 millones de dosis, Moderna le sigue con casi 140 millones y en una menor proporción CNBG con menos de 20 millones de dosis aplicadas.

La variante delta 1.617 y P1 han causado cifras de contagio y mortalidad asombrosas, afectaron principalmente a la India y a Brasil

generando historia en el mundo, ambas y nuevas variantes son epidemias e infecciones respiratorias graves (Gralinski y Menachery, 2020; Liu y Saif, 2020; Cui *et al.*, 2019).

En México existen proyectos sometidos y apoyados económicamente, por ejemplo, por CONACYT y ahora PRODEP en la convocatoria 2021, mismos que tienen como objetivo ayudar a contrarrestar los efectos negativos del virus en la población. En el caso de la formación universitaria —y de la educación en general— se ha visto severamente afectada al impartirse únicamente a distancia, por lo que los intentos por restablecer las operaciones de múltiples instituciones son primordiales, lo que hace de esta problemática una prioridad nacional, sin embargo, sigue en alza la pandemia. El 8 de agosto de 2022 se presentó una cifra sobre la cantidad de defunciones que superaba las 328 mil personas en México, y además los casos activos eran más de 90 mil personas. A pesar del proceso de vacunación que ya existe en todos los países, el contagio no cesa, entonces por eso la importancia de mantenerse alertas.

Con respecto al estado de Oaxaca, se presenta un panorama poco alentador considerando que se encuentra entre los tres estados más pobres y con más atraso en cuanto a educación en la república mexicana. De acuerdo con los siete niveles que maneja la Pan American Health Organization (PAHO) en cuanto a presencia de COVID-19, Oaxaca tiene el nivel cinco, con una tendencia a incrementar considerando las interacciones por festejos y elecciones políticas. Aunque cambió el semáforo a verde en el estado de Oaxaca de acuerdo con las bases de datos de PAHO (2021) los casos siguen incrementándose, con un posible cierre de universidades nuevamente por contagios recientemente en los primeros días de julio del año en curso (ver la **tabla 1**).

Tabla 1. Situación que guarda el estado de Oaxaca en los últimos siete meses de 2021

Datos	Enero	Julio
Fecha	25/01/2021	02/07/2021
Tasa acumulada de incidencia más alta (RATE)	796,28	1.165,27
Relación de casos mortales (%) (CFR)	7,26%	8,14
Casos totales	33.304	48.737
Muertes totales	2.419	3.967
Casos nuevos	4	117

Nota: elaborado por los autores a partir de PAHO (2021).

La Universidad Tecnológica de la Mixteca se encuentra ubicada en el estado de Oaxaca. La universidad tiene por ahora a su personal administrativo y a su plantilla docente en modo presencial pero los estudiantes de manera remota, sin embargo, existe interacción entre espacios de trabajo y personal lo que implica un riesgo para la integridad de la salud de cualquier colaborador. Las medidas preventivas empleadas son: tapete desinfectante, gel para manos y la aplicación de un desinfectante mediante un atomizador que realiza un vigilante en el acceso de la universidad. Además de esas medidas de seguridad, no hay más acciones para contrarrestar posibles contagios por COVID-19, por lo que este proyecto presenta una propuesta para fortalecer las medidas de prevención que lamentablemente no son suficientes, aunado a que no se cuenta con un plan bien estructurado para el menaje de personal infectado, considerando que ya se tienen casos de contagios reportados en la institución además de defunciones las cuales se incrementaron por los intentos de regresar de manera presencial.

Esta investigación contempla la termografía infrarroja, la cual ya ha sido utilizada en los casos de presencia de enfermedades infecciosas pandémicas, por ejemplo, el

Ébola, el SARS, la influenza AH1N1 y ahora en la pandemia de COVID-19 como método de tamizaje en personas que presentan fiebre (Contreras, 2020), mientras que Pascoe *et al.* (2010) sugieren tomar la temperatura con termografía en el canto interno del ojo o lagrimal debido a que este tiene un suministro abundante de sangre que viene de la rama lagrimal de la arteria oftálmica para la detección en casos de fiebre. La temperatura del lagrimal considerada como fiebre es de 37,5 °C para tomar en cuenta la variabilidad de $\pm 0,5$ °C, sin embargo, otros autores como García Puga *et al.* (2012) mencionan que la temperatura en el lagrimal a considerar como fiebre es de 37,3 °C por lo que existe una variación a considerar de $\pm 0,2$ °C siempre y cuando se tome como referencia la temperatura del lagrimal. Las tecnologías específicas para la COVID-19 se han clasificado en cuatro grupos y en el caso de este proyecto, la tecnología propuesta es la perteneciente al grupo 1. Los grupos se presentan a continuación:

- Tecnologías de prevención de contagios (en los que puede emplearse termografía)
- Tecnologías hospitalarias (paliativas y curativas)

- Tecnologías de identificación de contagiados
- Tecnologías epidemiológicas.

La **figura 1** muestra algunos trabajos de investigación tomados de la base de

datos de SCOPUS en donde se ha utilizado la termografía y es notoria la cantidad de artículos de investigación con la técnica de termografía como diagnóstico, en el gráfico el eje X representa los campos de aplicación de la termografía y en el eje Y la cantidad de artículos publicados en las bases de datos.

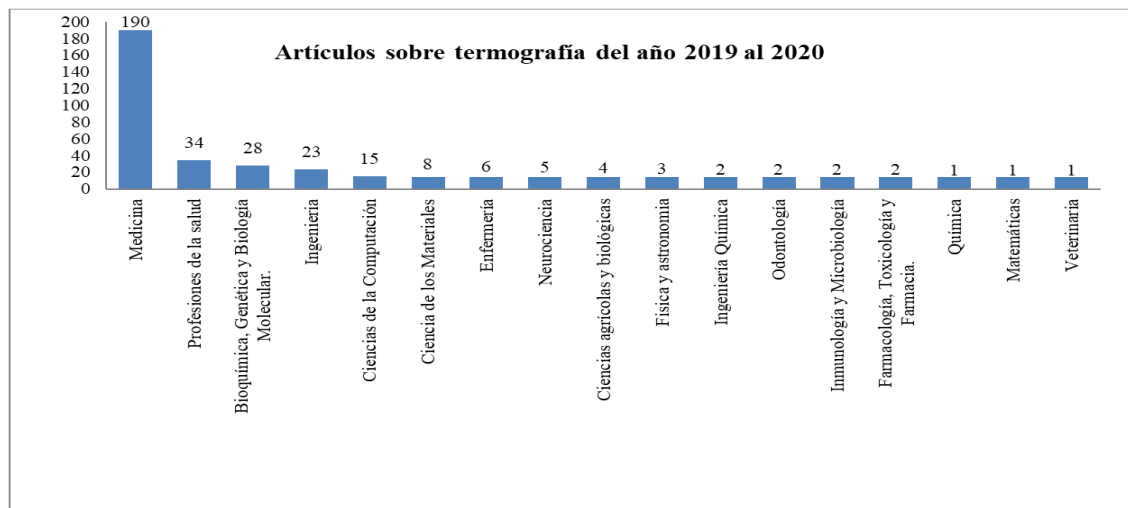


Figura 1. Artículos sobre termografía del año 2019 al 2020

Nota: elaborado por los autores

La termografía infrarroja (TIR) es una herramienta sencilla, no invasiva, y que representa un bajo costo en su utilización al facilitar datos que resultan de gran importancia para determinar si continuar o no con estudios de carácter especializado, actualmente se permite la obtención en tiempo real de imágenes térmicas, que representan en colores la distribución de la temperatura en los objetos de estudio (Cañada y Royo, 2016). Al no emitir radiación alguna, la TIR puede utilizarse en pacientes en los que normalmente no se recomendarían las demás herramientas de diagnóstico por imagen, es decir pacientes pediátricos y pacientes embarazadas pero que pueden estar contagiados por COVID-19. La toma de termogramas puede repetirse las veces que sean necesarias, por

supuesto el uso de esta técnica no significa la sustitución o el desplazamiento de otras pruebas diagnósticas, por el contrario, las complementa y proporciona información más precisa en relación con la patología de la comunidad universitaria. Al utilizar la termografía infrarroja se puede detectar que un pequeño aumento de la temperatura se traduce en un aumento de la luminosidad de la zona de estudio (Ring y Ammer, 2000).

A continuación, se presenta la **tabla 2** que contiene un rango de temperaturas a considerar en cada persona en la institución y da una pauta para poder generar estrategias, planes de acción y trazabilidad. El seguimiento de las temperaturas es personalizado por lo que puede fácilmente tomarse la decisión de

aislar a una persona que forma parte de la comunidad universitaria para evitar contagios masivos, esto a través de un criterio de atención en tiempo real.

Tabla 2. Seguimiento de temperaturas

Diferencias de temperatura	Nivel de temperatura en tiempo real
$\leq 0,4$ °C	Normal
0,5° – 0,7 °C	Seguimiento
0,8°–1 °C	Prevención
1,1°–1,5 °C	Alarma
$\geq 1,6$ °C	Gravedad

Nota: elaborado por los autores

Al no contar con estrategias para enfrentar la aparición de la pandemia de SARS-CoV-2, los gobiernos se vieron en la necesidad de optar por algunas alternativas como, por ejemplo, no hacer nada, aplicar la mitigación o aplicar la supresión; algunos teóricos consideran que la estrategia más recomendada es la de supresión (Pueyo, 2020). Al presentarse los primeros casos, cada país aplicó diversas acciones según su criterio, meses después se vivieron repercusiones económicas. González y Flores (2020) indican que la economía mundial atraviesa una crisis económica y humanitaria ocasionada por una pandemia sin precedentes, por lo que es necesario desarrollar planes estratégicos para los próximos efectos pospandemia. Lo anterior afectó a las instituciones de educación del Estado.

Volviendo al problema educativo, Martínez y Guillén-Guerrero (2019) afirman que existen factores externos que impiden el uso adecuado de la tecnología como medio de enseñanza-aprendizaje. Los principales factores que dificultaron el acceso a este modelo educativo durante esta emergencia fueron la falta de dispositivos tecnológicos y la carencia de

lugares que permitan el acceso a internet. También se encuentran factores internos que inciden en el correcto uso del aprendizaje virtual. Para Martínez y Guillén-Guerrero (2019), este aspecto se refiere básicamente a la predisposición para enseñar y aprender que hace referencia a la necesidad de mejorar destrezas y habilidades tecnológicas que optimicen los métodos de enseñanza, así como proveer material llamativo y de fácil acceso para los estudiantes.

La dependencia estratégica relacionada con COVID-19 la vive México, y todos los países e instituciones dependen para el desarrollo de su actividad, de la obtención y el acceso a conocimiento, productos y tecnologías cuyo desarrollo y provisión no controlan en su totalidad (Silvela y León, 2020) por lo que el desarrollo de planes y estrategias es primordial para seleccionar los escenarios y tecnologías más favorables para cada país. Cabe resaltar que la adquisición de tecnologías extranjeras es aceptable considerando que los intentos de obtener la denominada “soberanía tecnológica” se han visto frustrados, incluso para grandes potencias como la Unión Europea (Barker, 2020).

En general, las medidas de prevención publicadas por la OMS (2020a) y ratificadas por autores como Howard *et al.* (2020); Chu *et al.* (2020); son: lavarse las manos con agua y jabón o solución a base de alcohol; cubrirse la boca al toser; distancia física de al menos un metro entre las personas; no tocarse ojos, nariz ni boca; uso de mascarillas que cubran boca y barbilla; uso de guantes; usar careta que cubra toda la cara; autoaislamiento; acudir al médico si presenta síntomas y seguimiento de casos sospechosos. Por otro lado, se ha observado que alrededor del 80 % de las personas que contraen la enfermedad se recuperan sin tratamiento especial, y aproximadamente el 2 % fallece (OMS, 2020b; Maguiña *et al.*, 2020).

Materiales y método

La metodología empleada fue cuantitativa, transaccional experimental (Hernández *et al.*, 2018). Durante el 2020 y 2021 se realizaron búsquedas en las bases de datos Scielo, Elsevier, ScienceDirect, con las palabras clave “termografía”, “COVID”, “COVID-19”, “SARVS2”, “detección de fiebre”, “seguridad y gestión universitaria”. Se seleccionaron los estudios que tuviesen relación con el empleo de la termografía en el caso de la pandemia y fueron considerados únicamente los trabajos realizados en humanos. Basándose en ese contenido fue posible analizar las posibilidades de usar termografía en el ámbito de la seguridad universitaria, así como realizar un análisis crítico de sus limitaciones. Al final del artículo se encuentra un anexo en donde aparece el

consentimiento informado. A continuación, se presentan con detalle cada uno de esos puntos considerados como parte del procedimiento de la metodología con termografía.

Recopilación de datos. Se realizó mediante cámaras termográficas e identificadores de reconocimiento facial, junto con termómetros, se requirió de calibración diaria con base en la ISO/TR 13154 de 2017 y en la norma ISO IEC 80601-2-59 de 2017, además de respaldo de información digital, en cuanto a las temperaturas, imágenes y termogramas. El *software* empleado fue FLIR Research Studio y FLIR Tools, programados para medir una emisividad de 0,98, temperatura reflejada 20 °C a 24 °C, distancia 0,60 a 0,80 metros, temperatura automática. Las especificaciones de las cámaras termográficas empleadas en la investigación se describen en la **tabla 3**.

Tabla 3. Características de las cámaras termográficas empleadas

Características de las cámaras Flir E5 y E6		
Modelo	E5	E6
Marca	Flir System	Flir System
Resolución	160 × 120 (19,200 pixeles)	240 × 180 (43,200 pixeles)
Rango de temperatura	De -20 a 400 °C (de -4 a 752 °F)	-20 °C a 550 °C (-4 °F a 1022 °F)
Sensibilidad térmica/NETD	<0,10 °C (0,27 °F)/100 mK	<0,06 °C (0,11 °F) / 60 mK
Precisión	±2 °C (±3,6 °F) o ±2 % de lectura	±2 °C (±3,6 °F) o ±2 % de lectura
Campo de visión	(FOV) 45° × 34°	(FOV) 45° × 34°
Distancia focal mínima	0,5 m (1,6 ft)	0,5 m (1,6 ft)
Enfoque	siempre enfocada	siempre enfocada
Frecuencia de la imagen	9 Hz	9 Hz
Rango espectral	7,5–13 μm	7,5–13 μm
Resolución espacial (IFOV)	5,2 mrad	3,4 mrad
Tipo de detector	Microbolómetro no refrigerado	Microbolómetro no refrigerado
Certificaciones	UL, CSA, CE, PSE y CCC	UL, CSA, CE, PSE y CCC

Nota: elaborado por los autores.

Sujetos estudiados. En cuanto a los sujetos estudiados se debe obtener el consentimiento informado por escrito de todos los participantes para su estudio y para la publicación de imágenes, cabe resaltar que en la universidad ya se hizo desde el regreso presencial para profesores, personal tanto administrativo como operativo. El procedimiento consiste en que el personal pase por el túnel de sanitización para su desinfección. Para esto, es necesario el llenado diario del tanque dosificador y la limpieza manual del túnel con productos desinfectantes, así como el mantenimiento al sistema para evitar incrustaciones o que se ensucie y contamine.

Benchmarking. Aplicar *benchmarking* al sistema de seguridad, a los planes y estrategias que pueden mejorarse, mediante la consulta de literatura y realización de reuniones académicas con investigadores para analizar las diferencias en cuanto a resultados que se han obtenido. Esta tecnología —que pertenece al grupo de identificación y aislamiento de contagiados— constantemente está siendo mejorada. Por ejemplo, en algunos artículos no se consideraron las calibraciones de ajuste en las cámaras termográficas o el combinar el uso de termómetros infrarrojos sin contacto. En otros casos no se usaron el cuerpo negro de referencia o medir las condiciones ambientales como la humedad y temperatura ambiente, temperatura reflejada e incluso distancia, tiempos de reposo de las personas o la emisividad de 0,98 °C para piel humana.

Toma de lecturas de temperatura en la frente, lagrimal, oído e incluso en el cuello y muñeca. Para este trabajo se consideraron rangos de variaciones para analizar diferentes casos y variables en zonas corporales.

Análisis termográfico de la información mediante *software* especializado que se consideró para este proyecto.

Selección de personas de la comunidad universitaria de manera aleatoria para realizarles estudios termográficos, con la finalidad de darle seguimiento a sus temperaturas durante la jornada.

Análisis por reconocimiento facial que también incluye temperatura y reconocimiento del uso de cubrebocas para generar un histórico por persona, con capacidad planeada para 3.000 personas. La gestión de la región corporal de interés (RCI) entre el extremo derecho o izquierdo es de gran ayuda, por ejemplo, ojo derecho e izquierdo y sus similitudes o diferencias de temperatura que son síntomas de posibles personas contagiadas por COVID-19.

Finalmente se analiza y compara la información con alta precisión de las terminales de reconocimiento facial las cuales tienen una precisión de 0,3 °C, de las cámaras termográficas con precisión de 0,5 °C y los termómetros infrarrojos sin contacto, con precisión de 1 °C para la gestión de la temperatura de la comunidad universitaria en cuanto a su trazabilidad y toma de decisiones.

En la **figura 2** se puede ver parte de la metodología propuesta para la aplicación de la termografía. Los termogramas son analizados uno a uno en las regiones de interés, cabe resaltar que las personas examinadas se encuentran en reposo para que puedan experimentar su termorregulación corporal.

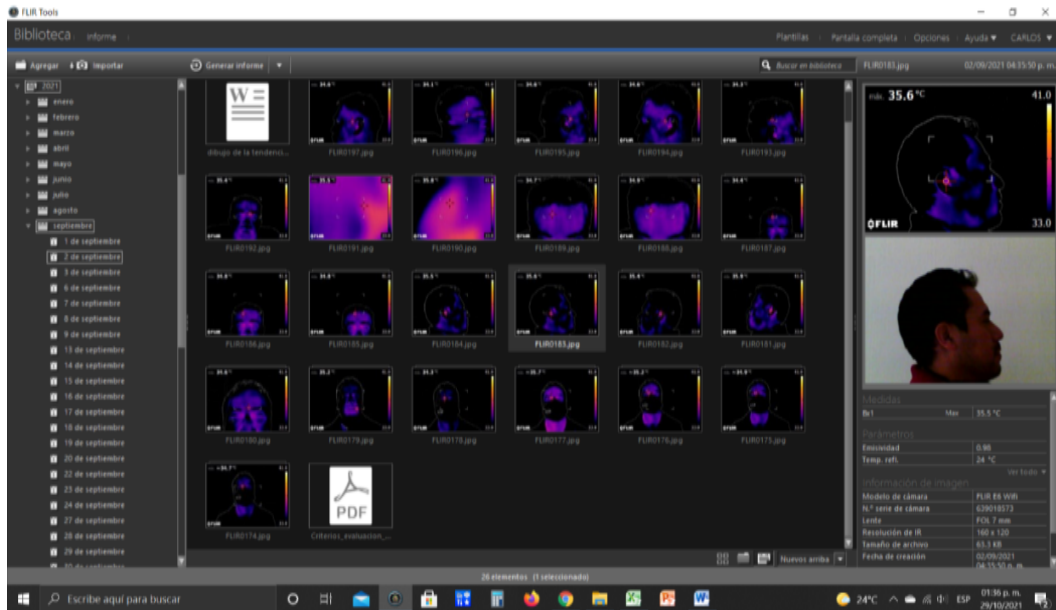


Figura 2. Termograma frontal y lateral

Nota: elaborado por los autores

La figura 3 contempla el diseño de experimentos con un conjunto de variables estudiadas en diversos trabajos de investigación en forma aislada y en este caso se contemplan juntas, con el objetivo de disminuir sesgos.

Los requerimientos y variables para el diseño de experimentos que pueden aportar a la literatura basado en la revisión en las

bases de datos y que no se consideraron de acuerdo con la figura 3: i) fondo negro de baja emisividad; ii) persona en reposo por quince minutos; iii) cuerpo negro al nivel del termograma; iv) humedad: 10 % a 62 %; v) sin iluminación; vi) emisividad: 0,98 °C; vii) cámara termográfica; viii) temperatura ambiente: 20 a 24 °C y ix) computadora para almacenar datos.

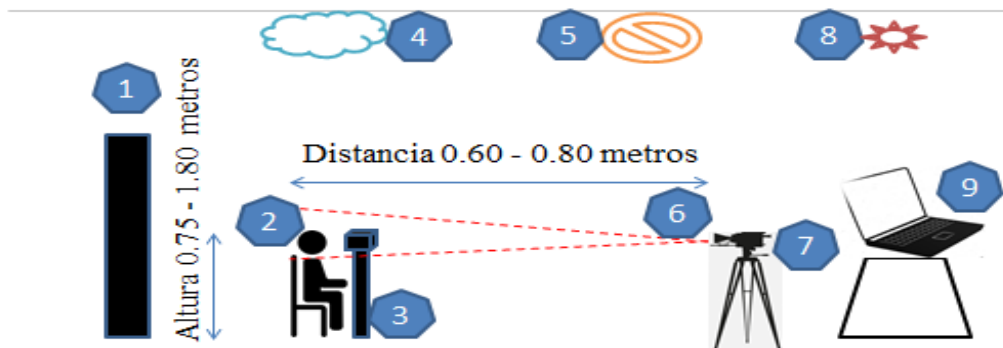


Figura 3. Procedimiento para la toma de termogramas

Nota: elaborado por los autores.

Las variables son: 1) fondo negro, 2) paciente, 3) cuerpo negro, 4) humedad, 5) sin iluminación, 6) configuración de emisividad, 7) cámara termográfica, 8) temperatura ambiente y 9) computadora.

Resultados

Se analizaron los casos de profesores y estudiantes para quienes se tomó la decisión de aislarlos por sospecha de posible contagio por COVID-19 (figuras 4 y 5). Se utilizó una muestra de profesores pertenecientes a la institución tanto voluntarios y los que fueron identificados por el departamento de enfermería al contar con síntomas similares a los que produce el COVID-19 basados en la escala de seguimiento de temperaturas.

Los termogramas son analizados simétricamente por lo que es necesario dividir los rostros y analizar las similitudes o variaciones de la distribución de temperaturas tanto en lado derecho como en el izquierdo. A continuación, en la figura 4, se presentan ejemplos de los casos analizados para la obtención de promedios y regiones o áreas de interés con su respectiva temperatura.

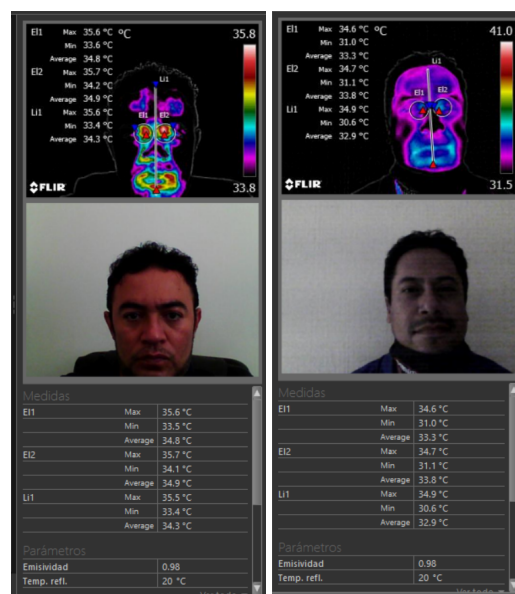


Figura 4. Termogramas frontales a profesores

Nota: elaborado por los autores

La generación de la base de datos de termogramas es almacenada y por protocolo de seguridad se censa en tiempo real a grupos completos aun cuando guarden su sana distancia, se encontró que las temperaturas de cada individuo son diferentes todos los

días, pero el objetivo es generar datos en los que se pueda apreciar cuando el incremento de temperaturas sea considerado como seguimiento o preventivo. En la **figura 5** se representa la toma de termogramas individuales (lado izquierdo) y un ejemplo de termograma grupal (lado derecho). La cantidad de estudiantes analizados con

termografía varía dependiendo del tamaño del grupo y oscila entre 20 a 44 estudiantes, se analizan uno a uno y de forma grupal, pero en todos los casos se aplica el censo para disminuir riesgos por no analizar a todos los que ingresan a espacios cerrados como es el caso de las aulas, esto incluye al profesor que imparte la clase.

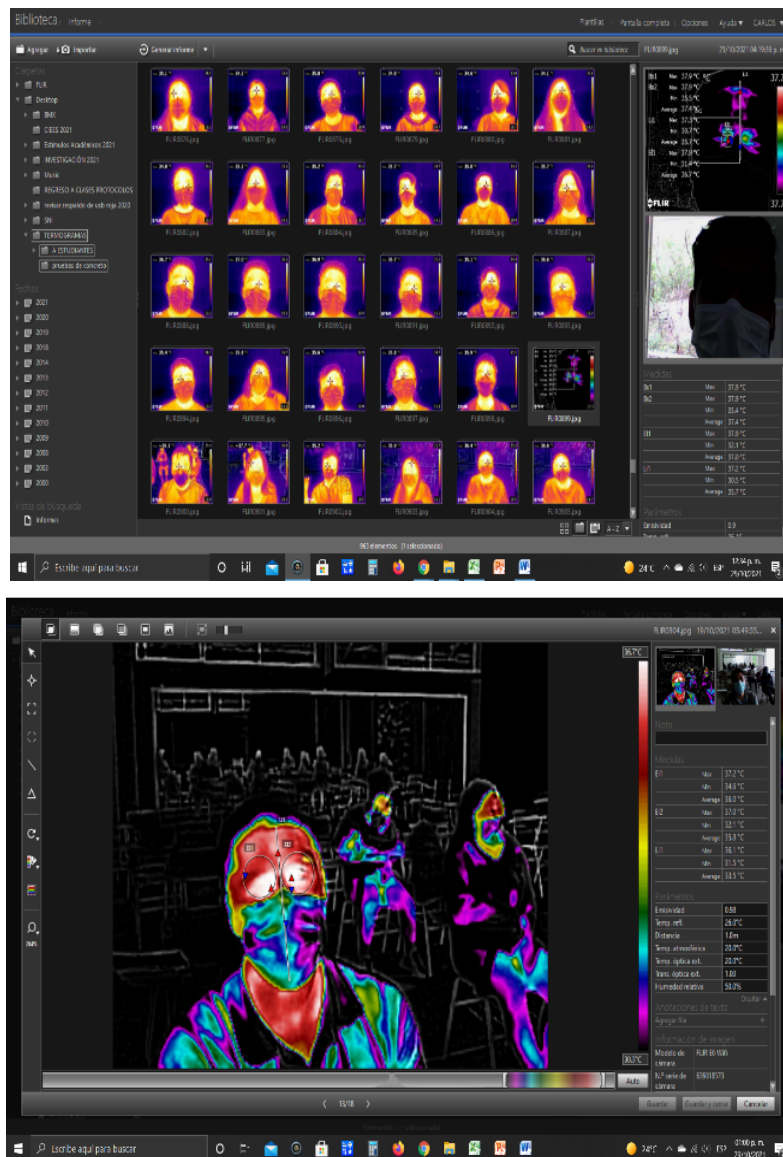


Figura 5. Termogramas de estudiantes

Nota: elaborado por los autores, muestras entre 20 y 44 estudiantes por grupo.

Para analizar la media y la variación de la temperatura registrada en la población seleccionada, se utilizaron gráficos de control I-MR. Estos gráficos permiten monitorear la media y la variación (rango móvil) cuando se tienen datos continuos que son observaciones individuales.

Y para elaborarlos, se recurre a las fórmulas que se indican a continuación:

$$LCS: \mu + k\sigma \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$LCI: \mu - k\sigma \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

μ = media de las observaciones

k = parámetro de la prueba (el 3 representa el 99,74 % de los límites de confianza)

σ = desviación estándar

Con respecto al análisis realizado a la población de la Universidad mediante el uso de termografía, las mediciones realizadas en ojos mostraron algunos casos fuera de control, que eran casos específicos de personas que en realidad no estaban contagiadas. Esto se puede

ver en la **figura 10A** que representa el gráfico de control de las temperaturas tomadas en los ojos. De esa misma población, podemos comprobar que, al tomar la temperatura en la frente, la temperatura siempre estuvo dentro de los límites superior e inferior, lo que nos permite tener la confianza de que ninguno excedía la temperatura definida como indicador de la presencia del virus. La **figura 10B** es el gráfico de control de la temperatura tomada en la frente.

La **figura 10C**, es el gráfico de control de la temperatura tomada en los oídos, en donde también podemos verificar que la temperatura se mantiene dentro de los límites fijados. Una observación rebasa ligeramente el límite de control superior, pero equivale a una temperatura de 36.8 grados, lo cual está dentro del límite definido como indicador de temperatura por posible contagio del virus.

Llevando un control estricto realizando gráficos de control de las temperaturas tomadas en ojos, frente y oídos, y además teniendo filtros instalados en las entradas, y haciendo uso de técnicas apropiadas y adecuadas, se obtuvieron resultados favorables pues no hubo algún caso de contagio en la institución.

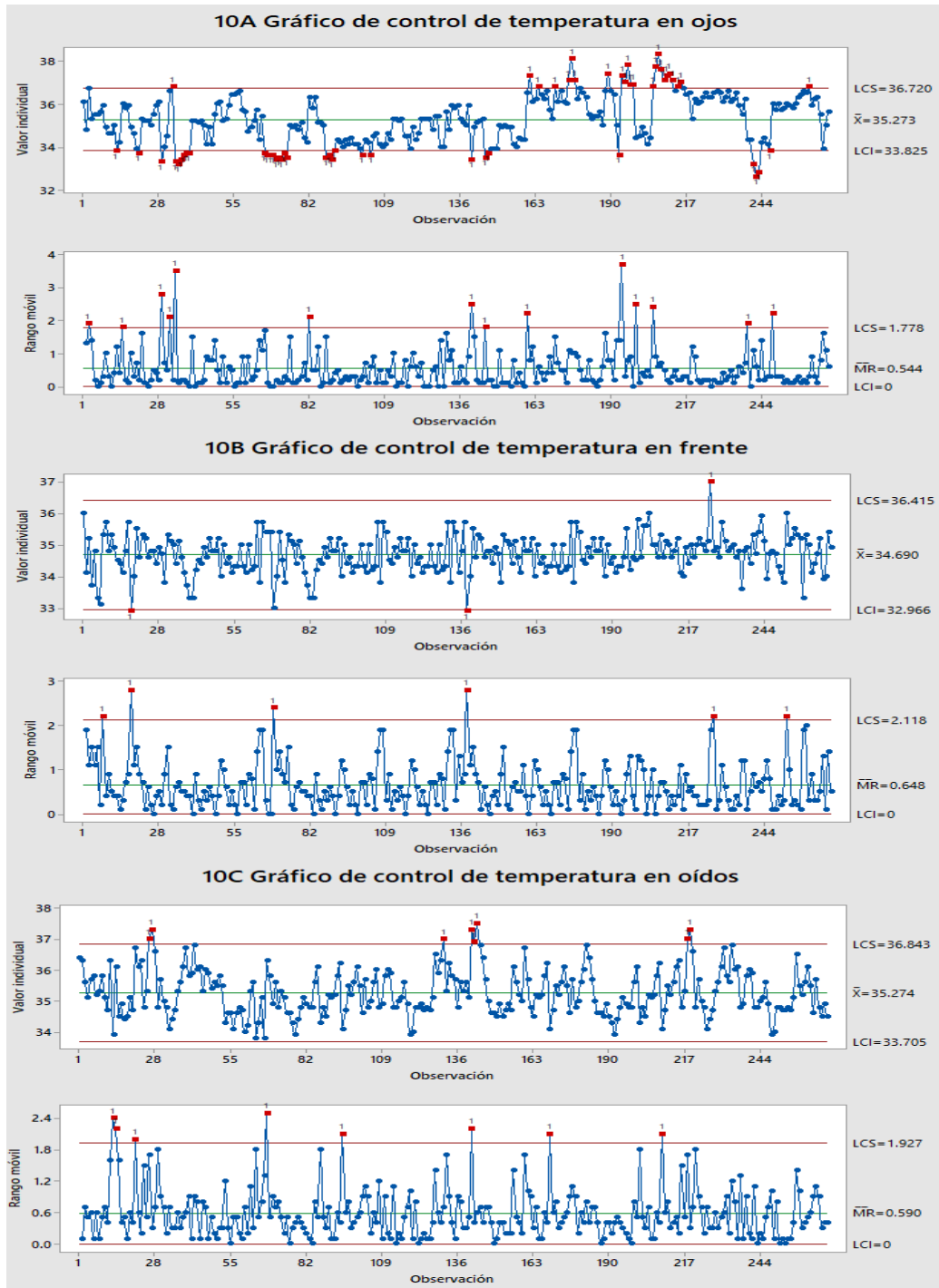


Figura 10. Gráfica de control de temperatura en ojos; B. Gráfica de control de temperatura en frente. C. Gráfica de control de temperatura en oídos

Fuente: elaborado por los autores

Resultados y discusión

Durante la investigación se encontraron casos en los que hubo estudiantes contagiados asintomáticos, por lo que era necesario el empleo de pruebas rápidas y apoyo de laboratorio en cuanto a los sospechosos para descartar casos falsos o positivos y pudieran ingresar a la institución, también se encontró que algunas personas presentaban síntomas —principalmente fiebre— y al pasar uno o dos días desaparecían los malestares, otros casos que lamentablemente no se pudieron censar y estas personas entraron a la institución contagiando a otros integrantes de la comunidad universitaria. En la mayoría de los casos los integrantes de la comunidad manifestaban sentirse más seguras y relajadas al saber que estaban interactuando con personas que no presentaban fiebre, lo que permitía un ambiente más adecuado para impartir clases, caso contrario a cuando los estudiantes o profesores percibían un ambiente tenso o tenían miedo y se veían obligados a permanecer rodeados de personas ya sea para trabajar o estudiar.

Se recomienda crear aduanas con termografía ya que permiten tener un expediente personalizado y digital en tiempo real de cada individuo, lo que mejora la gestión de la salud de la comunidad universitaria y reduce los posibles contagios de COVID-19 y otras muchas enfermedades virales. Es importante considerar las ocho variables en el diseño de los experimentos con la finalidad de reducir errores de medición y los falsos positivos, por ejemplo, además que aporta un área de oportunidad para la fabricación de cámaras termográficas que tengan nuevos controles para reducir aún más los posibles riesgos en los termogramas como es el caso de la temperatura reflejada por luz natural o artificial. Este tipo de implementación de tecnologías y diseño de experimentos es necesario en las instituciones públicas o

privadas en donde existe un flujo importante de personas considerando que la pandemia no ha terminado y que pueden surgir otras variantes de COVID-19 e incluso otras enfermedades similares por lo que planear para el futuro y estar preparados será crucial para el cuidado de comunidades universitarias o de ciudadanos.

Durante el desarrollo del estudio por termografía y considerando el análisis de imágenes que se producen en los termogramas, se utilizó una muestra de profesores perteneciente a la institución tanto voluntarios como los que fueron identificados por el departamento de enfermería por presentar síntomas similares a los que produce el COVID-19, considerados como casos y controles, ya que ante la sospecha de síntomas clínicos como temperatura, escurrimiento nasal, dolor de cabeza o cuerpo, dificultad para respirar, se procedía al aislamiento debido a la sospecha de posible contagio, según los valores obtenidos, los cuales se presentaron en las **figuras 2, 4 y 5**, estos producen cambios de temperatura en la escala definida en °C en el lagrimal, frente y oído.

Conclusiones

Se puede concluir que el método aplicado en esta investigación es un complemento a las estrategias de inocuidad, ya que evita que casos de personas asintomáticas ingresen a las instituciones públicas e incrementen los contagios, debido a que afectan los esquemas de prevención lo que conlleva a continuar con la presencia de casos que se pueden traducir en personas con secuelas y, en el peor de los casos, en muertes que pudieron evitarse. Valga recalcar las de replicar esta investigación y su diseño de experimento con técnicas no invasivas que tiene como puntos a favor su bajo costo, genera confianza entre las poblaciones

o comunidades, se reduce la tensión o estrés o temor de contagiarse por falta de estrategias y

medidas de seguridad, y entre sus desventajas es que suele ser un tanto lento y monótono.

Referencias

- Arévalo Ipanaqué, J., Da Silva Tetzlaff, A., Tiscar González, V., Sánchez, L., Lobos Rodríguez, R., Velásquez Ramos, L., Bessa Guerra Da Silva Martini, L., Cavalcanti De Medeiros Kernbeis, Z., Obando Zegarra, R. (2020). Análisis multipaís de la gestión del cuidado de enfermería durante la pandemia por COVID-19. *Revista Cubana de Enfermería*, 36. Recuperado de <http://revenfermeria.sld.cu/index.php/enf/article/view/3998/607>
- Barker, T. (2020). Europe Can't Win the Tech War It Just Started: The European Union is running in circles in pursuit of "digital sovereignty". *Foreign Policy*. Fecha de acceso 16 de enero del 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3oBhch2>
- Briggs H. (2020). Coronavirus: cómo se estrecha el cerco sobre el pangolín como probable transmisor del patógeno que causa el covid-19: Londres: BBC; Fecha de acceso 27 de marzo del 2020. Disponible en: <https://bbc.in/3bgozYg>
- Cañada M., & Royo R. (2016). *Termografía infrarroja Nivel II END ensayos no destructivos*. Madrid: FC Editorial ISBN-10: [8416671109
- Chu, D. K., Akl, E. A., Duda, S., Solo, K., Yaacoub, S., Schünemann, H. J., & Urgent, C.-S. (2020). Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis, 1973–1987. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31142-9](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31142-9)
- Cui, J., Li, F. & Shi, Z.L. (2019). Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. *Nature Rev*, 17(3), 181–192. Doi: <http://dx.doi.org/10.1038/s41579-018-0118-9>
- González, R. & Flores, K. (2020). Cultura organizacional y Sustentabilidad empresarial en las Pymes durante crisis periodos de confinamiento social. *Revista Internacional Multidisciplinaria*, 1, 28-41. Fecha de acceso 29 de marzo del 2023. Disponible en: <https://bit.ly/30MtD4l>
- González Contreras, F. J. (2020). Medición de temperatura corporal por termografía infrarroja en la UASLP. *Revista de divulgación científica*, Numero [251]. ISSN-1870-1698.
- Gralinski, L.E. & Menachery V.D. (2020). Return of the coronavirus: 2019-nCoV. *Viruses*, 12(2), 135. Doi: <http://dx.doi.org/10.3390/v12020135>
- Guiomar del Ser, J. O. (2020). EL PAÍS. Fecha de acceso 29 de marzo del 2023. Disponible en: <https://bit.ly/3vjXFW8>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación*. 6ta ed., D.F, México: McGraw-Hill. ISBN: 978-1-4562-6096-5.
- Howard, J., Howard, J., Huang, A., Li, Z., Tufekci, Z., Zdimal, V., & Westhuizen, H. Van Der. (2020). *Face Masks Against COVID-19: An Evidence Review Face Masks*

- Against COVID-19: An Evidence Review, (May). Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.2014564118>
- IEC 80601-2-59: Medical Electrical Equipment Part 2-59: Particular Requirements for the Basic Safety and essential Performance of Screening Thermographs for Human Febrile temperature Screening, International Electrotechnical Commission, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland (2017). Google Scholar
- ISO/TR 13154: Medical Electrical Equipment Deployment, Implementation and Operational Guidelines for Identifying Febrile Humans Using a Screening Thermograph, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland (2017). Google Scholar
- Lim YX, YL Ng, JP Tam, & DX Liu (2016). Human coronaviruses: A review of virus-host interactions, 2016 25 de julio; 4 (3): 26. Doi: <https://10.3390/disease4030026>.
- Liu, S. & Saif, L. (2020). Emerging viruses without borders: the Wuhan coronavirus. *Viruses*, 12(2), 130. Doi: <https://doi.org/10.3390/v12020130>
- Maguiña Vargas, C., Gastelo Acosta, R., & Tequen Bernilla, A. (2020). El nuevo Coronavirus y la pandemia del Covid-19. *Revista Médica Herediana*, 31(2), 125-131. Doi: <https://doi.org/10.20453/rmh.v31i2.3776>
- Martínez, O., & Guillén-Guerrero, G. (2019a,b). Tecnologías de la Información y la Comunicación e Innovación Tecnológica en la Educación Básica. Risti: *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (E18), 1-13, e-ISSN: 1646-9895. Fecha de acceso 29 de marzo del 2023. Disponible en: <https://bit.ly/3BqCCoF>
- Medina, C., Marín, J. & Alfalla, R. (2010). Una propuesta metodológica para la realización de búsquedas sistemáticas de bibliografía. *Working Papers on Operations Management*, págs. 13-30. <https://doi.org/10.4995/wpom.v1i2.786>
- Ministerio de Sanidad. Actualización no 13. Neumonía por nuevo coronavirus (2019-nCoV) en Wuhan, provincia de Hubei, (China). Madrid: Ministerio de Sanidad; 2020. (Citado el 15 de abril del 2020). Fecha de acceso 29 de marzo del 2023. Disponible en: <https://bit.ly/3Q14nYV>
- Mojica, R. & Morales, M. (2020) Pandemia COVID-19, la nueva emergencia sanitaria de preocupación internacional: una revisión. *Medicina de Familia*, 46 (S1): 72-84. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.semern.2020.05.010>
- Nikulín, C. & Becker, G. (2015). Una metodología Sistémica y creativa para la gestión estratégica Caso de Estudio Región de Atacama-Chile. *Journal of Technology Management and Innovation*, 18. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242015000200009>
- OMS. 2020a. Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19). Fecha de acceso 29 de marzo del 2023. Disponible en: <https://bit.ly/3bgXap4>
- OMS. 2020b. Preguntas y respuestas sobre prevención y control de las infecciones para los profesionales sanitarios que atienden a pacientes con infección presunta o confirmada por 2019-nCoV. Fecha de acceso 29 de marzo del 2023. Disponible en <https://bit.ly/3Bu8Dft>

- Organización Mundial de la Salud (2020a). Nuevo coronavirus –Tailandia (procedente de China). Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2020. [Citado el 15 de abril del 2020]. Fecha de acceso 29 de marzo del 2023. Disponible en <https://bit.ly/3MIB0dY>
- Organización Mundial de la Salud (2020b). Alocución de apertura del Director General de la OMS en la rueda de prensa sobre la COVID-19 celebrada el 11 de marzo de 2020. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Fecha de acceso 29 de marzo del 2023. Disponible en <https://bit.ly/3vrJAGn>
- Organización Panamericana de la Salud (2020). Consideraciones de la Organización Panamericana de la Salud con respecto a la propagación del nuevo coronavirus emergente. Washington DC: Organización Panamericana de la Salud. Fecha de acceso 29 de marzo del 2023. Disponible en <https://bit.ly/3BqKM0n>
- Orús, A. (2021). Statista. Obtenido de Statista. Fecha de acceso 31 del 07 de 2022. Disponible en <https://bit.ly/3bfLkM3>
- Our W. (2022) Nuestro mundo en datos. Universidad de Oxford. Fecha de acceso 02 del 07 de 2021. Disponible en <https://bit.ly/3PY5yZc>
- Pascoe, D. D., Ring, E. F., Mercer, J. B., Snell, J., Osborn, D. & Hedley-Whyte, J. (2010). International standards for pandemic screening using infrared thermography. *Medical Imaging 2010: Biomedical Applications in Molecular, Structural, and Functional Imaging*, 7626, pp. 76261Z-1- 76261Z-8. Doi: <https://doi.org/10.1117/12.843836>
- PHAO. (2020) COVID-19 cases and deaths reported by countries and territories in the Americas. Fecha de acceso 29 de marzo del 2023. Disponible en <https://bit.ly/3vnCyCs>
- Pueto T. (2020) Coronavirus: the hammer and the dance [Internet]. Medium. 2020. [citado el 2020 01 abril del 2020] p. 1–35. Disponible en <https://bit.ly/30HAegn>
- Ring, E. F. J., & Ammer, K. (2000). The technique of Infra red Imaging in Medicine. *Thermology international*, 10(1), 7-14. Doi: <http://dx.doi.org/10.1088/978-0-7503-1143-4ch1>
- Rothan, H. A., & Byrareddy, S. N. (2020). The epidemiology and pathogenesis of coronavirus disease (COVID-19) outbreak. *Journal of autoimmunity*, 109, 102433. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2020.102433>
- Silvela, E. & León, G. (2020). Estrategia y tecnología. (cap. 5) Panorama estratégico 2020. Instituto Español de Estudios Estratégicos. Marzo de 2020. ISBN: 978-84-9091-478-6 (edición papel). Disponible en <https://bit.ly/3PXqT4U>
- Sohrabi C, Alsafi Z, O'Neill N, Khan M, Kerwan A, Al-Jabir A, Iosifidisa C, Aghad R (2020). World Health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19), *Int. J. Surg.*, 71-76. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2020.02.034>
- Torrecillas, F. J. G., Santos, J. L., & Pozo, J. E. C. (2012). Analysis of the theoretical knowledge and clinical management of fever by paediatricians and medical residents in relation to an established care protocol. 117–128. Fecha de acceso 02 del 07 de 2021. Disponible en <https://bit.ly/30HAegn>

[scielo.isciii.es/pdf/pap/v14n54/en_ original3.pdf](https://scielo.isciii.es/pdf/pap/v14n54/en_original3.pdf)

WHO (World Health Organization) (2020). Transmission of SARSCoV-2: implications for infection prevention precautions Scientific Brief 9 July 2020. COVID-19: Infection prevention and control / WASH. Fecha de acceso 29 de marzo del 2023. Disponible en <https://www.who.int/publications/i/item/modes-of-transmission-of-viruscausing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>

Yu, F., Du, L., Ojcius, DM., Pan, C. & Jiang, S. (2020). Measures for diagnosing and treating infections by a novel coronavirus responsible for a pneumonia outbreak originating in Wuhan, *Microbes Infect*, 22(2), 74-79. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.micinf.2020.01.003>

Zhou, W., Zhong, N., Wang, Q., Hu, K., Zhang, Z. (2020). *The Coronavirus Prevention Handbook*. Skyhorse Publishing. ISBN: 9781510762411

Anexo

Consentimiento informado

[versión X, fecha dd/mm/20XX]

Yo, _____, declaro que he sido informado de la finalidad, procedimiento y tiempo de participación, y he hecho pleno uso de mi capacidad para participar voluntariamente en esta investigación titulada: Gestión con termografía infrarroja para instituciones públicas en tiempos de pandemia COVID-19.

Se puede manifestar que he sido informado(a) clara, precisa y ampliamente, respecto de los procedimientos que implica esta investigación así como de los riesgos a los que estaré expuesto ya que dicho procedimiento es considerado de nulo riesgo.

He leído y comprendido la información anterior, y todas mis preguntas han sido respondidas de manera clara y a mi entera satisfacción, por parte de _____

Nombre y firma del investigador principal _____

Nombre y firma del investigador _____

Nombre y firma del paciente _____

Área a la que visita o trabaja _____

Nombre y firma enfermera _____

Nota: Los datos personales contenidos en este consentimiento informado estarán protegidos de conformidad con lo dispuesto en la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública, la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y la Ley General de Protección de Datos Personales. Los datos están sujetos a las obligaciones correspondientes y demás normativa aplicable.