



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Estudio exploratorio de tecnologías de seguimiento y alerta temprana en carreteras

Elizabeth de la Torre
Eric Moreno Quintero
Marisol Barrón Bastida
Jared Piña Barcenás

Publicación Técnica No. 656
Sanfandila, Qro.
2021

ISSN 0188-7297

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Transporte Integrado y Logística del Instituto Mexicano del Transporte, por la Dra. Elizabeth de la Torre Romero, el Dr. Eric Moreno, la Mtra. Marisol Barrón Bastida, y el Mtro. Jared Piña Barcenás. Se contó con el apoyo en la búsqueda de información documental por parte de las estudiantes Yamilet García Salazar y Vania Montserrat Villegas Rangel.

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna TI 04/21: "Estudio exploratorio de tecnologías de seguimiento y alerta temprana en carreteras".

Se agradecen la revisión y las aportaciones del Dr. Carlos Martner Peyrelongue, Coordinador de Transporte Integrado y Logística del IMT, así como el apoyo del Dr. Eduardo Klein Arenas quien amablemente hizo las mediciones y la comparación de lecturas entre dispositivos; su ayuda fue muy importante para este estudio.

Nuestro reconocimiento especial a las valiosas sugerencias del Dr. Gerardo Álvarez Bucio, Jefe del Departamento de Medicina Preventiva en el Transporte del Centro SCT Querétaro, y al Ing. Manuel Alberto Alcocer Leos, subdirector de transporte del Centro SCT Querétaro por sus acertados comentarios y su orientación en el desarrollo del presente estudio.

Se reconoce también el apoyo brindado por el Laboratorio Nacional de Sistemas de Transporte y Logística (SiT-LOG Lab), cuyas capacidades tecnológicas facilitaron el desarrollo de la arquitectura de sistema propuesta, así como su difusión en el sitio web del SiT-LOG Lab.

Contenido

	Página
Contenido	iii
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras	vii
Sinopsis	ix
Abstract.....	xi
Resumen ejecutivo	xiii
Introducción	1
1. El seguimiento y la seguridad en el autotransporte de carga	3
1.1 Seguimiento al transporte de carga, el enfoque tradicional	3
1.2 Seguimiento centrado en la persona, un enfoque diferente.....	4
1.3 Monitoreo de signos vitales.....	4
1.3.1 Deporte de alto rendimiento	5
1.3.2 Investigación espacial	5
2. Afectaciones de la salud y uso de drogas en el autotransporte	9
2.1 Siniestralidad en el autotransporte.....	10
2.2 Accidentes y enfermedades de trabajo en el autotransporte de carga .	12
2.3 Un caso de estudio cubano.....	15
2.4 El problema de las drogas	16
2.5 Algunos estudios sobre el consumo de droga en el autotransporte de carga	19
2.5.1 Caso 1. Estudio sobre condiciones laborales y la cadena de suministro (México 2017).....	19
2.5.2 Caso 2. Encuesta sobre el uso de Alcohol y drogas en conductores (Estados Unidos 2009)	19
2.5.3 Programas de prevención	20

3.	Identificación y análisis de tecnologías de seguimiento	23
3.1	Tecnologías de seguimiento	23
3.1.1	Centrado en la unidad	23
3.1.2	Enfocadas al autotransporte de carga	24
3.2	Principales tecnologías wearables	27
4.	Arquitectura del sistema propuesto	35
4.1	Bluetooth de baja energía (BLE)	36
4.2	Dispositivos wearables.....	38
4.3	Descripción de la aplicación móvil	40
4.4	Sistema de monitoreo, análisis de los datos y base de datos.....	41
4.5	Usuarios.....	42
5.	Propuesta sobre el procesamiento de datos	43
5.1	La evaluación de las mediciones	44
5.2	La gráfica de control	46
5.3	El control de la variación	51
5.4	Patrones de comportamiento en la gráfica de control.....	56
6.	Conclusiones	61
	Bibliografía.....	63
	Anexo	69

Índice de tablas

Tabla 2.1 Resultados de examen psicofísico y médico.....	9
Tabla 2.2 Resultados de examen toxicológico	10
Tabla 2.3 Accidentes en carreteras federales 2017 – 2019	10
Tabla 2.4 Razones de datos de accidentes a número de colisiones	11
Tabla 2.5 Accidentalidad según tipo vehicular 2017 – 2019	11
Tabla 2.6 Accidentes y enfermedades de trabajo 2016 – 2020.....	12
Tabla 2.7 Incapacidad y defunción por accidentes y enfermedades de trabajo 2020	13
Tabla 2.8 Accidentes de trabajo y principales causas externas 2020	13
Tabla 2.9 Casos de invalidez según ocupación y tipo de lesión 2020.....	14
Tabla 2.10 Principales antecedentes patológicos referidos por conductores profesionales	16
Tabla 2.11 Conductores profesionales según nivel de tensión arterial y antecedente de hipertensión arterial	16
Tabla 2.12 Distribución de clases de drogas por género en los E.U.A.....	20
Tabla 4.1 Comparación de las aplicaciones del Bluetooth clásico contra el BLE..	37
Tabla 5.1 Ejemplo de mediciones de presión sistólica	48
Tabla 5.2 Factores para límites de gráficas de control.....	51

Índice de figuras

Figura 2.1 Accidentalidad según tipo vehicular. Promedios 2017 – 2019	12
Figura 3.1 Ejemplo de funcionamiento de un Sistema Global de Navegación por Satélite	25
Figura 3.2 Ejemplo de funcionamiento de un Sistema Posicionamiento Global Asistido	26
Figura 3.3 Wearable ECG Monitor	28
Figura 3.4 Aplicación “Heart Rate Plus”	29
Figura 3.5 Sistema denominado “Yapige”	29
Figura 3.6 Brazaletes STEER	30
Figura 3.7 Brazaletes CardiacSense	30
Figura 3.8 Aplicación de Google Fit	31
Figura 3.9 Pulsómetro de banda	31
Figura 3.10 Wearable Kineseowear	33
Figura 3.11 Omron HeartGuide	33
Figura 4.1 Propuesta de arquitectura del sistema	36
Figura 5.1 Ejemplo de histograma de la frecuencia cardiaca.....	45
Figura 5.2 Ejemplo de gráfica de control de la frecuencia cardiaca	45
Figura 5.3 Gráfica de control-X de la presión sistólica	49
Figura 5.4 Variaciones de la desv. estándar y el rango.....	50
Figura 5.5 Relación lineal rango – desv. estándar	50
Figura 5.6 Gráfica de control-R de la presión sistólica	53
Figura 5.7 Gráfica de control-S de la presión sistólica	54
Figura 5.8 Gráfica de control individual de la presión diastólica.....	56
Figura 5.9 Control individual. Presión diastólica. Hombre (62)	57

Figura 5.10 Control individual. Presión diastólica. Mujer (45).....	58
Figura 5.11 Bondad de ajuste Normal. Presión diastólica. Mujer (35).....	59
Figura 5.12 Bondad de ajuste Normal. Saturación O2. Hombre (31)	59

Sinopsis

Este trabajo presenta un estudio exploratorio sobre las tecnologías de seguimiento que pudiesen aplicarse para la identificación de riesgos en el transporte de carga desde la perspectiva de seguimiento al operador. Una de las principales motivaciones para llevar un seguimiento del operador es que, cuando ocurre un accidente, comúnmente surgen interrogantes sobre el estado del conductor momentos previos al accidente: ¿estaba bajo el influjo de drogas?, ¿se quedó dormido al volante?, ¿su estado de salud era adecuado para conducir?, etc.

Actualmente, estas interrogantes son muy difíciles de responder. En estos casos es necesario realizar un peritaje para identificar las causas del siniestro y no siempre es posible contar con evidencia suficiente para determinar las condiciones del operador, previas al accidente.

Por lo anterior, es vital conocer e identificar las opciones tecnológicas existentes que puedan fungir como una herramienta de apoyo para dar seguimiento a los conductores de vehículos de carga que circulan por las carreteras del país, y principalmente, aquellos que transportan carga peligrosa. Ya que la implementación y uso de esta tecnología, puede facilitar la identificación de situaciones de riesgo que se estén generando.

Abstract

This paper presents an exploratory study on the monitoring technologies that could be applied for identify risks in the transport of goods from the perspective of monitoring the operator. One of the main motivations for monitoring the operator is that, when an accident occurs, the question commonly arises about the condition of the driver moments before the accident, if he was under the influence of drugs, if he fell asleep at the wheel, if his state of health was adequate for driving, etc.

Currently, these questions are very difficult to answer, so it is necessary to carry out an expert opinion because not always is possible to have sufficient evidence to determine the conditions of the operator, prior to the accident.

Therefore, it is vital to know and identify existing technological options serving as a support tool to monitor the truck drivers circulating on the country's roads, and mainly, those moving dangerous freight. Since the implementation and use of this technology can facilitate the identification of risk situations generated.

Resumen ejecutivo

El presente estudio exploratorio hace una revisión sobre la tecnología de monitoreo existente, y como dichos desarrollos tecnológicos, que actualmente son empleados en otras áreas, pueden aprovecharse para la prevención de accidentes, además de ser un sistema de salvaguarda para los propios conductores de vehículos de carga.

Este estudio propone una nueva visión del monitoreo del transporte de carga desde una perspectiva de monitoreo del individuo, tanto para su supervisión como para su protección, el cual no sustituye, pero si complementa, el actual esquema de monitoreo de flotas, centrado únicamente en la vigilancia del vehículo y la carga.

En el capítulo 1 “El seguimiento y la seguridad en el transporte de carga”, se expone el tema del seguimiento a la carga durante su transporte con motivo de preservar la seguridad de la misma. Tradicionalmente este seguimiento se ha llevado a cabo centrado en el monitoreo de la unidad y se presenta un nuevo enfoque centrado en el individuo, desde una perspectiva de brindar seguridad al operador de la unidad y vigilar que este tenga las condiciones adecuadas para conducir el vehículo, en específico, que sus signos vitales no indiquen señal de alerta, ya sea por enfermedad crónica o por estar bajo el influjo de drogas.

En el capítulo 2 “Afectaciones a la salud y uso de drogas en el autotransporte” se hace una revisión de estadísticas de accidentabilidad en el transporte de carga, por configuración vehicular. También explora el tema de accidentes, las enfermedades de trabajo en el transporte de carga y los principales padecimientos que presentan los conductores de este tipo de vehículos. Además, se aborda la problemática del uso de drogas por parte de los conductores, incluyendo una revisión y síntesis de estudios previos sobre esta temática.

En el capítulo 3 “Identificación y análisis de tecnologías de seguimiento” se lleva a cabo un recuento de tecnologías de monitoreo y seguimiento, tanto desde la perspectiva de la unidad como las tecnologías enfocadas en dar seguimiento al operador. En estas últimas, se incluyen las nuevas tecnologías *weareables*¹, las cuales han sido aplicadas en diversos campos y su potencial en el transporte aun presenta una gran área de oportunidad como auxiliar en la reducción de siniestros.

¹ Conjunto de aparatos y dispositivos electrónicos que se incorporan en alguna parte del cuerpo interactuando de forma continua con el usuario y con otros dispositivos con la finalidad de realizar alguna función concreta.

Fuente: <https://www.dispositivoswearables.net/>

A continuación, en el capítulo 4 “Arquitectura del sistema propuesto” se presenta la propuesta de un sistema basado en tecnología que se puede llevar puesta, conocida comúnmente como *weareable*. En este caso se trata de una banda inteligente que, al ser usada de forma constante por el conductor, permitirá recolectar información sobre los signos vitales y otros datos de interés que darán la posibilidad de llevar un seguimiento de la salud del operador, además de identificar señales de alerta que podrán ser transmitidas a una central donde se procederá de acuerdo al protocolo establecido por cada empresa o las autoridades pertinentes.

En el capítulo 5. “Propuesta sobre el procesamiento de datos”, se presenta una propuesta de cómo podrían manejarse los datos mencionados en el capítulo 4, de acuerdo a sus características para su mejor análisis, así como el proceso de determinación de datos atípicos que pudieran ser indicadores de alerta.

Y para finalizar en el capítulo 6 se presentan las conclusiones respecto al potencial que tienen las tecnologías de monitoreo centradas en el individuo para prevenir accidentes, se abunda sobre el potencial de la propuesta y las áreas de oportunidad que existen en este campo para el desarrollo de sistemas de alerta temprana que coadyuven a la mejora de la seguridad en el autotransporte.

Introducción

El transporte de carga es una actividad con altos niveles de riesgo, en la mayoría de los casos los conductores viajan solos, por lo cual, es difícil detectar a tiempo la ocurrencia de eventos adversos y, por lo tanto, no es posible llevar a cabo acciones de respuesta que eviten lamentables noticias como las siguientes:

- 27 de agosto 2020

“Balean a trailero para asaltarlo y muere en el hospital” (Martínez, 2020).

- 17 de junio 2013

“Asegura procurador que el chófer del tráiler que causó la muerte de siete personas en la caseta de San Ángel Zurumucapio iba drogado” (Caballero, 2013).

- 28 de febrero 2019

“Después de sufrir un fulminante ataque cardíaco, el conductor de un tráiler falleció minutos más tarde en el kilómetro 61 de la carretera González-Zaragoza.” (Milenio, 2019).

- 16 de septiembre de 2020

“Muere conductor de tráiler de posible paro respiratorio se encontraba en el interior de un tráiler, sobre la carretera Tapachula – Suchiate” (González, 2020).

Cuando ocurren este tipo de sucesos, es inevitable plantear la pregunta: ¿pudo haberse evitado? En las condiciones actuales del sistema no es posible pues, aunque actualmente es obligatorio para las unidades de doble remolque el registro de datos GPS, esta medida funciona más como una herramienta de análisis para identificar la causa de un incidente y deslindar responsabilidades. El enfoque desde una perspectiva de prevención aún se visualiza lejano.

De acuerdo con datos del Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública, más del 80% de los robos en carretera se llevan a cabo con violencia (CNSP, 2020). Como resultado de estos crímenes, los operadores de las unidades son golpeados y/o mutilados (Reforma, 2020) y arrojados a un lado del camino sin que puedan pedir ayuda. El enfoque de protección de mercancías es justificable, pero hemos olvidado la perspectiva de cuidar al conductor y a su vez cuidar a la población cuando el conductor no está en condiciones de seguir manejando, ya sea por comportamiento errático debido al cansancio extremo, por motivos de salud (infarto, desvanecimiento o desmayo) o por encontrarse bajo el influjo de drogas.

La presente propuesta tiene como propósito dar un primer paso para llegar al punto deseado de disponer de tecnología asequible, que permita la identificación temprana de situaciones de riesgo desde la perspectiva del seguimiento al conductor del vehículo de carga.

Esta meta pudiera no estar tan distante, si se logra identificar tecnología existente que posiblemente no haya sido diseñada con el propósito de ayudar en la identificación de riesgos en el transporte, pero que pudieran ser de utilidad a través del diseño de soluciones IoT (Internet de las Cosas). Un ejemplo de esto es la existencia de dispositivos que miden la frecuencia cardíaca y llevan un seguimiento, estos pueden emplearse en combinación con el desarrollo de aplicaciones que detecten datos atípicos y puedan enviar una alerta que inicie un protocolo de verificación de la situación, y conforme a esto llevar a cabo las acciones adecuadas de manera oportuna.

El IMT, congruente con su misión de proveer soluciones al sector transporte y logístico en México a través de la investigación aplicada, propone esta investigación la cual incide en el objetivo: detonar el crecimiento, declarado en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) como primer compromiso del apartado de Economía, ya que la identificación temprana de escenarios de riesgo permitirá reducir pérdidas humanas, económicas y daño a la infraestructura carretera, permitiendo un autotransporte de carga más seguro y competitivo.

1. El seguimiento y la seguridad en el autotransporte de carga

1.1 Seguimiento al transporte de carga, el enfoque tradicional

El transporte de mercancías es uno de los puntos más vulnerables en el aprovisionamiento de bienes, desde la antigüedad, el servicio de custodia y protección de la carga durante su transporte ha sido un tema crítico. A medida que el desarrollo de la tecnología lo ha permitido, el seguimiento de carga ha evolucionado del acompañamiento in situ, a un seguimiento a distancia por medio de las tecnologías de comunicación, permitiendo conocer no solo la localización de la carga sino condiciones físico mecánicas de la unidad y condiciones de la carga como puede ser su temperatura.

Sin embargo, el seguimiento tradicionalmente ha sido enfocado en la carga y la unidad de transporte, dejando de lado el monitoreo de las condiciones del conductor del vehículo. Paradójicamente, uno de los principales factores de riesgo en la ocurrencia de accidentes viales incide en el factor humano. Por otro lado, en cuanto al riesgo de robo, el conductor se encuentra en un estado de vulnerabilidad casi total, pues al dirigir el monitoreo al vehículo y la carga, tendremos conocimiento de un incidente solo cuando la unidad pierde su señal de rastreo y en este momento la situación ya es crítica.

Comúnmente, el operador solo es monitoreado de manera indirecta a través de mediciones realizadas a la unidad, como su ubicación o la velocidad de desplazamiento. Sin embargo, al estar centrado el monitoreo en la unidad es difícil obtener información adicional que es crucial para definir el rumbo de acción a tomar. Por ejemplo, si la unidad se desplaza de forma errática y a exceso de velocidad, puede deberse a que el conductor está siendo víctima de una persecución por parte de un grupo criminal con el objetivo de atracar la unidad; o porque está bajo el efecto de estimulantes; o bien puede tratarse de un caso de negligencia del conductor, por exceso de confianza en sus habilidades.

Si la única fuente de seguimiento es la unidad, no seremos capaces de llevar a cabo la acción pertinente ante la situación que se enfrenta. Por ello es importante complementar el seguimiento de la unidad a través del seguimiento del personal.

Adicional a lo ya descrito, existen problemas de salud crónicos que los conductores de las unidades desarrollan como resultado de llevar una vida sedentaria y una mala alimentación. Por esta razón, dar un seguimiento a los conductores de las unidades permitirá no solo evitar accidentes, sino también detectar de manera temprana enfermedades crónicas que pueden ser controladas si se detectan a tiempo, además de contar con la posibilidad de constatar el cumplimiento de los periodos de descanso a que están obligados los conductores, detectando si hay largos periodos de vigilia, o incluso, tener la posibilidad de distinguir entre las lecturas “normales” en sus signos vitales, aquellas que pudieran ser indicativos de que el conductor esté bajo el efecto de drogas.

En el presente estudio, se exploraron diferentes tecnologías de seguimiento, desde el enfoque tradicional centrado en la unidad, como desde el enfoque propuesto, centrado en el individuo. Aunque en este último rubro ya se cuenta con tecnología que nos permitiría tener un medio de contacto con el conductor, como es el radio o el botón de pánico, así como los medios de “vigilancia” como el caso de la cámara en cabina. Se plantea que aún existen más tecnologías por explorar y que actualmente son aplicadas en otros sectores o áreas, las cuales podrían implementarse como complemento al seguimiento tradicional de la unidad y la carga, permitiendo así generar datos en tiempo real que puedan dar avisos tempranos y prevenir siniestros.

1.2 Seguimiento centrado en la persona, un enfoque diferente

El seguimiento centrado en la persona no es algo nuevo y en el autotransporte de carga se ha desarrollado principalmente a través de tecnologías de “vigilancia”, como es el caso del uso de cámara en cabina lo cual, a decir de los conductores, puede resultar un poco incómodo y dar la sensación de que está siendo “vigilado”. El enfoque que se busca adoptar en este documento es de seguimiento desde una perspectiva de “cuidado”. La propuesta se basa en dar seguimiento a sus signos vitales, para saber que el conductor se encuentra bien y, a través del historial de sus lecturas, identificar de manera temprana posibles padecimientos que puedan desencadenar enfermedades crónicas. A su vez, determinar si el individuo está en condiciones de conducir la unidad.

1.3 Monitoreo de signos vitales

El monitoreo de signos vitales se ha llevado a cabo en diversos sectores profesionales, donde el individuo enfrenta condiciones extremas o, bien, el esfuerzo físico requerido es tal que puede implicar un riesgo para su salud. En estos casos es imperativo llevar un seguimiento de los signos vitales y asegurarse que la persona se encuentra en condiciones para continuar su labor.

Los primeros desarrollos en el campo de aparatos de medición portátiles estaban concentrados en la industria militar, para uso exclusivo de las fuerzas especiales, no obstante, los avances tecnológicos han hecho posible el desarrollo de sensores

a un menor costo, permitiendo que sea viable implementar esta tecnología en diversos campos, algunos de los cuales se presentan a continuación.

1.3.1 Deporte de alto rendimiento

El uso de aparatos de seguimiento para medir el desempeño de los deportistas ha demostrado múltiples beneficios para varios grupos de interés. Desde la perspectiva de salud del deporte, se busca conocer datos como la capacidad pulmonar, el ritmo cardiaco o el nivel de oxígeno en la sangre. (Padilla, 2001). Esta información permite cuidar mejor la salud del deportista y prolongar su carrera por más tiempo, adaptando entrenamientos acordes a sus necesidades y a su vez, evitando lesiones.

Por otro lado, la información también resulta de utilidad para la industria de artículos y ropa deportiva, pues los datos obtenidos pueden ser de utilidad en los diseños de nuevos productos. Adicionalmente la industria del entretenimiento también está interesada en la posibilidad de conocer información sobre el desempeño de los deportistas en tiempo real, como la velocidad o la aceleración. Actualmente existe tecnología que permite presentar en tiempo real información del desempeño de los deportistas.

Un ejemplo de esto podrían ser las competencias olímpicas, donde millones de seguidores de todo el mundo observan la competencia y en ese momento tener acceso a la velocidad que alcanzó el corredor, la potencia con que fue lanzada la jabalina, la altura de un salto, etc.

De acuerdo con el MIT Technology review, (2011), la liga Estadounidense de Fútbol Americano (NFL por sus siglas en inglés) ha utilizado tecnología de monitoreo para valorar a los mejores jugadores universitarios. Los postulantes con mejores pronósticos llevaron camisetas especiales equipadas con sensores, desarrolladas por Under Armour y Zephyr Technologies. Entre la información recibida de los jugadores, figuraban datos como la aceleración durante los 10 primeros metros de los 40 metros planos, “Se toman decisiones que valen millones de dólares basándose en la prueba de los 40 metros planos”, afirma Leslie Saxon, cardióloga y directora del centro de computación corporal de la Universidad del Sur de California (USC), “Si se consiguen estadísticas mucho más sofisticadas sobre la posición corporal, la fisiología y la mecánica, creo que podrían tener un papel muy importante”.

1.3.2 Investigación espacial

En el campo de investigación espacial, los últimos desarrollos tecnológicos han permitido dar seguimiento a los signos vitales de un astronauta de forma continua, sin ningún contacto y a unos centímetros de distancia. Debido a las condiciones extremas que enfrentan los astronautas, su salud debe ser periódicamente evaluada a través de minuciosos y extensos exámenes médicos cuando arriban a la Tierra. Pero en el espacio, los signos vitales de los astronautas son monitoreados

no solo para vigilar su estado de salud, sino también para llevar cabo experimentos en forma continua. (Medsbla, 2017)

Los últimos desarrollos tecnológicos en el campo del monitoreo de salud están encaminados al desarrollo de pequeñas cámaras que por medio de un software especializado puede monitorear los signos vitales de un individuo de manera continua, sin ningún contacto a varios centímetros de distancia. A esta tecnología se le conoce con el nombre de fotoplethismografía. Básicamente se basa en un software que, a través de una cámara de alta resolución, detecta las sutiles pulsaciones de sangre a través de la piel, usando esa capacidad para calcular el pulso y la oxigenación. Se prevé que, además de su aplicación en los viajes espaciales, pueda ser utilizada en telemedicina y la atención domiciliaria. (Colegio Médico de México, 2018).

Dentro del campo de la telemedicina, en México también se encuentran aportaciones, una de ellas es el proyecto diseñado por estudiantes mexicanos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y de Walter Calles (IPN), el cual consiste en un chaleco que mide la frecuencia cardiaca de los cosmonautas, la temperatura del cuerpo y el pulso, con el objetivo de controlar la salud de las tripulaciones en las misiones espaciales y saber. Este chaleco que monitorizará los signos vitales sienta las bases de la telemedicina y permite medir en tiempo real las respuestas de los astronautas. Bazaldúa, uno de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería, explicó que así se aseguran de que la salud de los astronautas se encuentre en perfecto estado y que sean capaces de realizar sus actividades de un modo favorable.

En las últimas décadas, el avance tecnológico en los aparatos médicos de medición han generado un movimiento de “auto seguimiento y cuidado de la salud”, ya que la reducción de costos en la fabricación de aparatos que miden la presión, el ritmo cardiaco, la azúcar en la sangre o los niveles de oxigenación, entre otros; permitieron que el ciudadano común estuviera en condiciones de adquirir dichos equipos y llevar su propio seguimiento, beneficiando a las personas con enfermedades crónicas como diabetes, presión arterial alta y otros padecimientos.

En los últimos años, la aparición de sensores más pequeños y baratos, así como los avances en la transmisión inalámbrica de datos, ha permitido que los equipos de seguimiento sean adoptados para el auto seguimiento y el cuidado de la salud. Ocasionalmente que la utilización de estos productos se desplace a otras áreas de aplicación e incluso al mercado de consumo, donde son adquiridos tanto por personas con enfermedades crónicas, o bien, por deportistas profesionales o amateurs.

Actualmente existen en el mercado una gran variedad de dispositivos que realizan diversas mediciones, entre los dispositivos disponibles un alto porcentaje se pueden calificar como de fácil uso y bajo costo, por lo que puede generar una nueva tendencia en el consumo de dispositivos para el cuidado personal. Con precios desde los 400 pesos en adelante, estos pueden ser adquiridos por prácticamente

cualquier individuo que simplemente desee llevar un seguimiento de sus signos vitales y actividad diaria. Las mediciones más comunes disponibles en el mercado son: ritmo cardiaco, niveles de oxigenación, nivel de estrés, número de pasos, distancia recorrida, horas y calidad de sueño.

La adopción masiva de estos dispositivos abre nuevas posibilidades para ser aprovechados en nuevas áreas y se propone que una de estas sea el seguimiento del estado de los conductores de transporte de carga. Esta nueva oportunidad de llevar un seguimiento sobre el individuo implica una oportunidad de complementar los sistemas actuales de monitoreo de unidades, que puede impactar de manera positiva la seguridad en el autotransporte de carga, principalmente en el caso del movimiento de carga peligrosa con la finalidad de prevenir accidentes fatales.

2. Afectaciones de la salud y uso de drogas en el autotransporte

En general, muchos padecimientos de los operadores de transporte carretero no se clasifican como enfermedades profesionales, sin embargo, no es que no existan patologías asociadas a esta actividad, sino más bien que se desconoce la situación de salud laboral del sector por la escasez de estudios al respecto.

En México, la Dirección General de Protección y Medicina Preventiva en el Transporte (DGPMPPT) de la SCT realiza periódicamente exámenes psicofísicos, médicos en operación y toxicológicos a los operadores del autotransporte. Los operadores pueden resultar aptos o no-aptos, en cuyo caso pueden reexaminarse para determinar si pueden seguir trabajando.

Si un operador da positivo en el examen toxicológico, se reporta a la autoridad que emitió su licencia para decidir el caso. La Tabla 2.1 muestra los resultados de los exámenes psicofísico y médico de operadores del autotransporte en el mes de diciembre para los años 2017 a 2019.

Tabla 2.1 Resultados de examen psicofísico y médico Operadores del autotransporte (DGPMPPT, 2021)

Dictámenes Examen Psicofísico. Autotransporte				
	Aptos	No aptos	Total	%No aptos
dic-17	10,485	102	10,587	0.96
dic-18	12,987	239	13,226	1.81
dic-19	11,925	771	12,696	6.07

Exámenes Médicos en Operación. Autotransporte				
	Aptos	No aptos	Total	%No aptos
dic-17	104,202	232	104,434	0.22
dic-18	87,000	188	87,188	0.22
dic-19	4,962	148	5,110	2.90

Fuente: DGPMPPT, *Medicina Preventiva en Cifras* (2021) <https://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/medicina-preventiva/medicina-preventiva-en-cifras/>.

Los porcentajes observados en los exámenes psicofísico y médico son relativamente pequeños para 2017 y 2018, aunque se nota un aumento en 2020, quizá por los efectos de la pandemia Covid19.

Respecto del examen toxicológico, la Tabla 2.2 muestra los porcentajes de no aptos en este examen, para los cuatro modos de transporte. Estos no aptos son los casos

confirmados de consumos de sustancias prohibidas, notándose el porcentaje más alto en el sector aéreo con 10%, seguido del autotransporte con 7.59%.

Tabla 2.2 Resultados de examen toxicológico Operadores del autotransporte (DGPMPPT, 2021)

	Exámenes Toxicológicos. Dic 2017			
	Presuntivos	Confirmatorios	Total	%No aptos
Aéreo	18	2	20	10.00
Autotransp	146	12	158	7.59
Ferroviano	52	2	54	3.70
Marítimo	4	0	4	0.00

Fuente: DGPMPPT, *Medicina Preventiva en Cifras* (2021) <https://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/medicina-preventiva/medicina-preventiva-en-cifras/>.

Los casos y porcentajes mostrados de los exámenes que realiza la DGPMPPT sugieren que es más crítica la situación de no-apto por consumo de sustancias prohibidas que la correspondiente a una mala condición de salud, lo que requiere políticas adecuadas para su control.

2.1 Siniestralidad en el autotransporte

La conducción de vehículos es una actividad de riesgo, pues se puede sufrir un accidente de consecuencias fatales tanto para el conductor como para otros usuarios, particularmente al circular en carretera. Entre los factores que contribuyen a la generación de un accidente en carretera, se han identificado: la circulación con exceso de velocidad, la sobrecarga del vehículo y el exceso de horas al volante. Estas prácticas suelen originarse en la búsqueda de aumentar la productividad del transporte de carga, lo que intensifica el estrés, el cansancio y la falta de sueño en los conductores.

La Tabla 2.3 muestra las estadísticas de accidentalidad en carreteras federales en México, basadas en los registros de la red carretera vigilada por la Guardia Nacional (GN), y publicadas en la serie del Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales que elabora el IMT.

Tabla 2.3. Accidentes en carreteras federales 2017 – 2019

Año	Colisiones	Muertos in situ	Lesionados	Daños materiales (miles USD)	Vehículos siniestrados
2017	11,883	2,921	8,910	56,165	19,388
2018	12,237	2,994	8,761	61,004	20,045
2019	12,056	3,044	8,501	61,018	19,670

Fuente: Cuevas Colunga C., et al. (2019).

En la Tabla 2.4 se observan las principales proporciones de estos datos respecto al número de colisiones. El promedio de 1.634 vehículos por colisión, menor que dos,

tiene que ver con que algunas colisiones de los vehículos son con objetos físicos o animales; los cocientes de muertos y lesionados por colisión, indican que en promedio cada cuatro colisiones tienen un muerto in situ, y que tres de cada cuatro colisiones tienen lesionados. El promedio de los daños materiales por colisión es de cerca de 5,000 USD.

Tabla 2.4 Razones de datos de accidentes a número de colisiones

	Veh/Colis	Muer/Colis	Lesion/Colis	Daño_mat/colis (USD)
2017	1.632	0.246	0.750	4,726.50
2018	1.638	0.245	0.716	4,985.21
2019	1.632	0.252	0.705	5,061.21
Promedio	1.634	0.248	0.724	4,924.31

Fuente: elaboración propia, con base en Cuevas Colunga C., et al. (2019).

En relación a los tipos vehiculares involucrados en los accidentes carreteros, en la Tabla 2.5 se puede observar el desglose para el período 2017 a 2019, donde se aprecia que la mayor incidencia es para los vehículos ligeros, seguidos por los camiones articulados y los caminos unitarios.

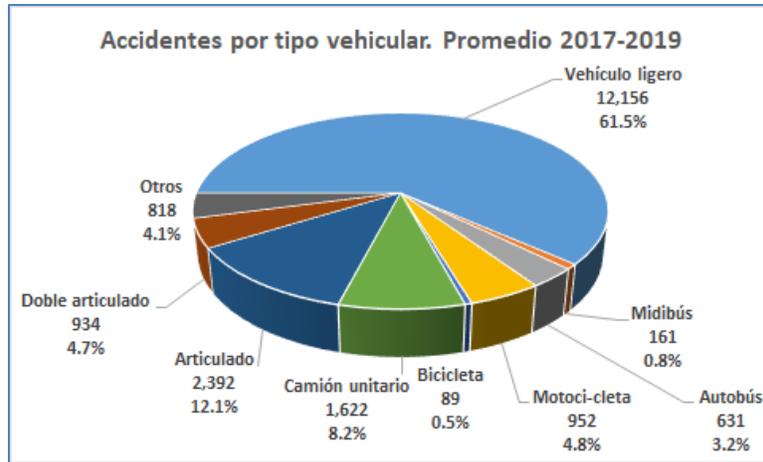
Tabla 2.5 Accidentalidad según tipo vehicular 2017 – 2019

Año	Vehículo ligero	Midibús	Autobús	Motocicleta	Bicicleta	Camión unitario	Articulado	Doble articulado	Otros	Total siniestros
2017	11,976		694	849	86	1,663	2,378	1,005	737	19,388
2018	12,292	225	615	926	83	1,689	2,451	953	811	20,045
2019	12,199	96	585	1,082	98	1,514	2,346	844	906	19,670
Prom. anual	12,156	161	631	952	89	1,622	2,392	934	818	19,701
%	61.7%	0.8%	3.2%	4.8%	0.5%	8.2%	12.1%	4.7%	4.2%	

Fuente: elaboración propia, con base en Cuevas Colunga C., et al. (2019).

Considerando los promedios anuales en este período, la Figura 2.1 muestra que los vehículos ligeros son el 61.5% mientras que los vehículos de carga representan el 25.1%, que es la suma de los porcentajes del camión unitario (8.2%), el articulado (12.1%) y el doble articulado (4.7%).

Sí bien los porcentajes de participación vehicular en el movimiento de carga son menores que la participación de vehículos ligeros, 25.1% de participación en los accidentes es un valor importante.



Fuente: elaboración propia, con base en Cuevas Colunga C., et al. (2019).

Figura 2.1 Accidentalidad según tipo vehicular. Promedios 2017 – 2019

También es de interés notar que, de los vehículos de carga, la configuración doble articulado es la que tiene el menor porcentaje de participación, pese a la percepción que algunos medios han difundido sobre la extrema peligrosidad de los camiones con doble remolque.

Las cifras mostradas revelan la gravedad de la situación de accidentes en carreteras federales y de ahí la necesidad de buscar medidas para su abatimiento.

2.2 Accidentes y enfermedades de trabajo en el autotransporte de carga

Otro aspecto que afecta a los operadores, además de los accidentes viales, son los accidentes y las enfermedades de trabajo. La Tabla 2.6 muestra datos de casos reportados por el IMSS entre 2016 y 2020, comparando el total nacional y el correspondiente a los trabajadores en transporte de carga, cuyos porcentajes de participación son en promedio 2.2%.

Tabla 2.6 Accidentes y enfermedades de trabajo 2016 – 2020

	Número de casos				
	2016	2017	2018	2019	2020
Total nacional	406,824	424,425	413,922	413,128	397,658
Transp. de carga	8,983	9,265	9,606	10,251	7,472
Porcentaje	2.21%	2.18%	2.32%	2.48%	1.88%

Fuente: IMSS. Memoria Estadística 2020. En: <http://www.imss.gob.mx/conoce-al-imss/memoria-estadistica-2020>.

Las afectaciones por los accidentes y las enfermedades de trabajo pueden generar incapacidad permanente, y hasta el fallecimiento del trabajador. La Tabla 2.7 muestra los casos de incapacidad permanente y de defunciones por accidente o enfermedad de trabajo del año 2020 para el total nacional que casos y para los trabajadores en el transporte terrestre. Aunque los porcentajes de accidentes de trabajo y enfermedades de trabajo para la actividad de transporte terrestre no son muy altos, se ve que los valores para accidente son un poco mayores que los de enfermedades de trabajo.

Tabla 2.7 Incapacidad y defunción por accidentes y enfermedades de trabajo 2020

Accidentes y enfermedades de trabajo 2020							
	Trabajadores asegurados	Accidentes de Trabajo			Enfermedades de Trabajo		
		Casos	Incapacidad permanente	Defunciones	Casos	Incapacidad permanente	Defunciones
Total nacional	19,457,040	278,184	12,705	666	119,474	8,274	682
Porcentajes		1.43%	0.07%	0.003%	0.61%	0.04%	0.004%
Transporte terrestre	622,562	10,554	752	111	430	660	7
Porcentajes		1.70%	0.12%	0.018%	0.07%	0.11%	0.001%

Fuente: IMSS. Memoria Estadística 2020. En: <http://www.imss.gob.mx/conoce-al-imss/memoria-estadistica-2020>

En valores nominales, los casos de accidente de trabajo (10,554) para los trabajadores del transporte terrestre son muchos más que los casos de enfermedades de trabajo (430), lo que pudiera reflejar el riesgo propio de la conducción de vehículos de carga. La Tabla 2.8 muestra las distintas causas externas identificadas para los accidentes de trabajo en 2020 para las ocupaciones relacionadas con transporte de carga.

Tabla 2.8 Accidentes de trabajo y principales causas externas 2020

Accidentes de trabajo según ocupación, y causa externa, 2020												
Ocupación	Total nacional	Exposición a fuerzas mecánicas inanimadas	Caídas	Exceso de esfuerzo, viajes y privación	Motociclista lesionado. Accidente de transporte	Agresiones	Ocupante automóvil lesionado. Accidente de transporte	Contacto con calor y sustancias calientes	Exposición a factores de riesgo ocupacional socioeconómicos/psico-sociales	Exposición a fuerzas mecánicas animadas	Ocupante camioneta/furgoneta lesionado. Accidente de transporte	Varios de frecuencia menor
Total de casos	278,184	112,843	79,491	38,918	13,488	6,956	5,326	4,914	3,240	3,086	2,292	7,630
Porcentajes		40.6%	28.6%	14.0%	4.8%	2.5%	1.9%	1.8%	1.2%	1.1%	0.8%	2.7%
Choferes vendedores	8,556	2,217	2,374	1,575	564	272	492	48	75	169	348	422
Porcentajes		25.9%	27.7%	18.4%	6.6%	3.2%	5.8%	0.6%	0.9%	2.0%	4.1%	4.9%
Conductor/camión/camionetas/autos-carga	7,135	1,954	1,984	884	97	269	346	54	26	92	345	1,084
Porcentajes		27.4%	27.8%	12.4%	1.4%	3.8%	4.8%	0.8%	0.4%	1.3%	4.8%	15.2%

Fuente: IMSS. Memoria Estadística 2020. En: <http://www.imss.gob.mx/conoce-al-imss/memoria-estadistica-2020>

Las dos ocupaciones relacionadas con el transporte de carga en la Tabla 2.8 son: chofer vendedor y conductor de vehículo de carga. En ambas ocupaciones, las principales causas de accidente de trabajo fueron: exposición a fuerzas mecánicas inanimadas, caídas y exceso de esfuerzo, viajes o privación. Esta última causa muy probablemente relacionada a la urgencia de los transportistas de carga de mantener una alta productividad, presionando en consecuencia a los conductores a realizar

más viajes, lo que lleva a reducir las horas de sueño o descanso necesarias para tener un buen estado físico.

Así, para choferes vendedores estas tres causas son el 72% de los casos, y para los conductores de vehículos de carga son el 67.6%. Un dato interesante en la tabla es que las agresiones tienen porcentajes similares de ocurrencia, tanto para choferes vendedores como para conductores de vehículos de carga, lo que sugiere buscar la posible relación de estos datos con los aspectos de inseguridad observados en el transporte de carga.

En relación a las enfermedades de trabajo, en la Tabla 2.9 se muestran los casos más comunes en conductores de vehículos de carga y en choferes vendedores; también se presenta en la tabla los datos de los conductores del autotransporte de pasajeros, para tener una comparación. Se muestran resaltados los tres principales padecimientos para cada ocupación. En los conductores de transporte de carga las tres principales enfermedades de trabajo detectadas son diabetes (31.74%), enfermedad cerebrovascular (9.58%) y tumores malignos (7.98%), sumando el 49.3% de los casos. Para choferes vendedores, las tres principales enfermedades son diabetes (26.37%), tumores malignos (9.16%) y dorsopatías (7.72%), que suman el 43.25% de los casos. En el caso de los conductores en el transporte de pasajeros, las tres principales enfermedades observadas coinciden con las de los dos grupos anteriores y puede notarse que la principal enfermedad, en los tres casos, es la diabetes.

Tabla 2.9 Casos de invalidez según ocupación y tipo de lesión 2020

	Total	Conductores de camiones, camionetas y autom. de carga	Porcentajes	Choferes vendedores	Porcentajes	Conductores de autobuses, camiones, camionetas, taxis y autom. de pasajeros	Porcentajes
Total Nacional	22,821	1,002		622		565	
Diabetes Mellitus	3,900	318	31.74%	164	26.37%	198	35.04%
Tumores (Neoplasias) Malignos	1,430	80	7.98%	57	9.16%	35	6.19%
Dorsopatías	1,282	47	4.69%	48	7.72%	50	8.85%
Artropatías	997	50	4.99%	46	7.40%	20	3.54%
Enfermedades Cerebrovasculares	1,005	96	9.58%	28	4.50%	45	7.96%
Insuficiencia Renal	359	29	2.89%	15	2.41%	6	1.06%
Osteopatías y Condrotipatías	333	12	1.20%	12	1.93%	5	0.88%
Enfermedades Isquémicas del corazón	325	18	1.80%	16	2.57%	22	3.89%
Otras formas de Enfermedad del Corazón	252	20	2.00%	14	2.25%	8	1.42%
Trastornos de la Coroides y de la Retina	209	22	2.20%	10	1.61%	8	1.42%
Enfermedades del Hígado	230	16	1.60%	14	2.25%	7	1.24%
Parálisis Cerebral/Síndromes Paralíticos	213	15	1.50%	3	0.48%	7	1.24%
Polineuropatías/Trastornos SistNerv Perif	146	9	0.90%	6	0.96%	5	0.88%

Fuente: IMSS. Memoria Estadística 2020. En: <http://www.imss.gob.mx/conoce-al-imss/memoria-estadistica-2020>

Otros estudios han encontrado que las actividades del autotransporte se relacionan con resultados adversos para la salud (Apostolopoulos, Sonmez, Shattell & Belzer, 2010) y la actividad de conducir, en comparación con otros grupos de personas de diferentes actividades se encuentran entre las profesiones que tienen mayores padecimientos de enfermedades crónicas y factores de riesgo (Bigert, Klandal, Hammar, Happqvist & Gustavsson, 2004).

Estos resultados indican que los padecimientos que generaron invalidez a los conductores de camiones pesados tienen la mayor proporción en los estados patológicos que se pueden clasificar en dos grupos: 1) los relacionados con la obesidad y 2) las molestias musculo esqueléticas. La diabetes Mellitus (21.1%), insuficiencia renal (8.5%), las enfermedades cerebrovasculares (6%) y las enfermedades isquémicas del corazón (4%) conforman la mayoría de padecimientos que causaron invalidez (40%) y tienen en común que reconocen la obesidad como uno de sus factores de riesgo.

Asimismo, Anderson et al. (2012) muestran que puede asociarse a los accidentes de tránsito con elevados valores del índice de masa corporal y de obesidad, implicando que los choferes ponen en riesgo su integridad y la de otros usuarios del camino. Adicionalmente, los choferes por lo general tienen dificultades para comer de forma saludable, debido no solo a la falta de capacitación y acceso a opciones de alimentación sana, sino también a otros factores que no pueden controlar, como por ejemplo el costo de la comida, el acceso a las tiendas de comestibles y el tiempo para cocinar o preparar sus alimentos. De esta manera, la alimentación de los choferes está limitada por los hábitos de alimentación, así como por la oferta que hay en los paraderos y restaurantes que encuentran en el camino.

En otro ejemplo, el blog español Documentos Transporte publica un breve informe sobre patologías en el sector transporte señalando como las más comunes: diabetes, tabaquismo, dolor de espalda (cervical y lumbar), alcoholismo, hipertensión, desórdenes digestivos, reumatismo, hemorroides y colesterol alto. Estimaciones de este trabajo indican que se tuvieron más de 70% con dolores de espalda, más de un 20% con hipertensión, más de 35% con alguna alteración digestiva, alrededor del 8% con úlcera gástrica y un 43% tendrían defectos visuales. El informe también señala que las patologías crónicas, digestivas y cardiovasculares son las más frecuentes en operadores, aunque el abanico de enfermedades y de sus efectos indirectos es muy amplio, lo que requiere vigilancia de la salud periódica y precisa en el diagnóstico y su tratamiento. (Documentos transporte, 2016).

2.3 Un caso de estudio cubano

En 2006, la Revista Cubana de Salud Pública difundió un estudio para identificar factores de riesgo de accidente en operadores de transporte circulando en la Vía Blanca, carretera multicarril que une la Habana con Matanzas y Varadero. Fueron entrevistados y evaluados 832 conductores, de edad media de 42.49 años; de la muestra, 25.44% padecía al menos, alguna enfermedad (Guanche et al, 2006).

La Tabla 2.10 muestra la frecuencia de aparición de los padecimientos y sus respectivos porcentajes con su intervalo de confianza al 95%. Los resultados indican que la hipertensión arterial es mucho más frecuente que el resto de patologías, siendo la de menor incidencia la sacrolumbalgia.

Tabla 2.10 Principales antecedentes patológicos referidos por conductores profesionales

Antecedentes	Frecuencia	% (IC 95%)
Hipertensión arterial	84	12.15 (9.33-14.97)
Asma Bronquial	47	5.18 (3.47-6.89)
Úlcera péptica	17	1.68 (0.63-2.73)
Diabetes mellitus	11	1.99 (0.37-3.61)
Enfermedad cardíaca	10	1.61 (0.52-2.70)
Sacrolumbalgia	6	1.26 (0.22-2.30)

Fuente: Guancho et al. (2006).

Respecto de la hipertensión, la Tabla 2.11 indica que solamente 20.21% de la muestra tuvo niveles normales de presión arterial, siendo pre-hipertensos un 10.41% y el resto (69.38%) con niveles elevados en la medición.

Tabla 2.11 Conductores profesionales según nivel de tensión arterial y antecedente de hipertensión arterial

Niveles	Total		Antecedente de hipertensión arterial			
	Núm	% (IC 95%)	Sí	% (IC 95%)	No	% (IC 95%)
Normal	149	20.21(17.65-22.77)	7	11,11(5.03-17.19)	142	21.47(18.37-24.56)
Prehipertensión	95	10.41(7.69-13.12)	5	8.43(1.44-15.41)	90	10.68(8.20-13.16)

Fuente: Guancho et al. (2006).

Según el estudio cubano, la conducción de vehículos se relaciona con aumento de la presión arterial y con arritmias cardíacas, lo que explicaría los resultados obtenidos y su conclusión de que la hipertensión es un factor de riesgo de accidentes para los operadores, evidenciando la necesidad de prevenir los accidentes con un monitoreo continuo de la salud de los operadores.

2.4 El problema de las drogas

El autotransporte de carga es el modo de transporte por donde se mueve el mayor volumen de mercancía y los choferes son los agentes claves para satisfacer las exigencias de los modelos logísticos, las cuales son cada vez mayores debido a las técnicas de mejora continua que propician fuertes presiones sobre los conductores, que además de entregar los productos en tiempo y forma, deben realizar otras actividades derivadas de la competitividad y polivalencia del trabajo. En esta actividad los operadores se exponen a diversos riesgos y exigencias con tensiones que provocan el lugar de trabajo, extensión de las horas laborales, fatiga, trabajo por turnos, la privación del sueño, la exposición al ruido y las vibraciones, el estilo de vida sedentario, una dieta poco saludable, la exposición a los humos de escape de motores diésel, urgencia por el tiempo de entrega, requerimientos de mantenerse despierto, retrasos en la operación y algunos otros factores de estrés en el trabajo,

que pueden afectar tanto la fisiología como la salud mental del individuo de manera individual y colectiva.

Esta circunstancia lleva a muchos trabajadores del volante a un contexto informal de trabajo, donde el pago de sus servicios es por destajo, en condiciones precarias, sin beneficios, prestaciones o seguridad social. Esto a su vez hace a los operadores decidir consumir sustancias que alteran su sistema nervioso para sobrellevar su desarrollo físico e intelectual a la hora de trabajar, sustancias que van desde anfetaminas hasta estimulantes legales sin receta médica. Algunas cifras que revelan estas prácticas se comentan enseguida.

Estadísticas de organismos de Canadá, Estados Unidos de Norteamérica y México presentan en los registros publicados sobre accidentes ocurridos en carretera que envuelven vehículos de transporte de carga pesada, que 8% de los conductores mueren por causa de accidentes causados por transportistas bajo influjo de sustancias nocivas (Puente, E., y Pillon, S., 2019).

Estudios realizados en Brasil muestran que 48% de las empresas transportistas reconocen que sus conductores usan drogas, de estos el 65% evidenciaron el uso de anfetaminas por los operadores de tractocamiones. De igual forma, en los Estados Unidos la Administración Nacional para la Seguridad Vial (NHTSA) reporta que entre 10% y 22% de los conductores involucrados en algún accidente usan drogas, a menudo combinadas con alcohol.

A su vez, en España el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses reporta que, de los casos analizados de conductores fallecidos en accidente de tráfico durante el 2017, el 43% consumió alcohol, drogas ilegales o medicamentos (Fernández, P., 2018).

En México las siguientes son algunas de las drogas que comúnmente se recetan o utilizan y que pueden disminuir la capacidad del conductor:

- Los antihistamínicos logran disminuir la coordinación y el tiempo de reacción.
- Los efectos residuales de las pastillas para dormir.
- El Valium es un tranquilizante que afecta a los conductores de la misma forma que un 0.10 % de alcohol en sangre.
- Los analgésicos como la hidrocodona pueden afectar al conductor de forma similar a la codeína o la morfina.
- Los antidepresivos logran tener un impacto similar a conducir en estado de ebriedad.

En tanto, los operadores de carga prefieren consumir los estimulantes de tipo anfetamínico ya que les ayudan a soportar las cargas de trabajo nocturnas, inhibiendo los efectos del sueño.

Las anfetaminas provocan en el individuo euforia, aumento de la actividad psíquica, aparición de movimientos repetitivos y estereotipados, disminución de la sensación de fatiga, constantes cambios de estado de ánimo, baja autoestima, irresponsabilidad, poca o nula conciencia de la enfermedad, ansiedad y depresión. Así, cuando el conductor las consume puede terminar con un agotamiento de graves consecuencias, tanto para su salud como para la seguridad del entorno vial, pues a pesar de que inhiben el sueño tienen efectos secundarios como:

- Ansiedad e insomnio.
- Ilusiones y pseudo-alucinaciones (manchas de luz, percepción de movimientos y flashes).
- Alteraciones perceptivas como una mayor sensibilidad a la luz, dificultades de acomodo visual y visión borrosa
- Trastornos del sueño y vértigo.
- Problemas de concentración y atención.
- Depresión, nerviosismo y agitación.
- Abandono de otras actividades sociales, laborales o recreativas.
- Estrés laboral.
- Conducción agresiva y peligrosa.

Según expertos, dichas sustancias son de fácil acceso en las llamadas “cachimbas”, donde nadie asegura la composición de lo que se vende ni las reacciones que pueden provocar (Anaya, L., 2020). Una breve descripción de lo que es una “cachimba” es como sigue:

“Las puedes ver fácilmente a los costados de las carreteras, con camiones de todo tipo estacionados. En su mayoría eran de madera, hoy ya las podemos ver de material. Estos lugares son parte del folklore mexicano y más aún del autotransporte de carga y el lugar en donde probablemente cualquier trailerero se sienta más a gusto mientras realiza su trabajo.

[...] Les llaman ‘cachimbas’, refugio nocturno por excelencia de los trailereros, de los hombres recios del volante, de los tripulantes de enormes monstruos de acero, clientes asiduos a este tipo de lugares, sitios que por lo general se anclan en serie, como si fueran centros comerciales, a la orilla de la carretera.

Son pequeñas chozas construidas con trozos de madera y pedazos de cartón de cajas de desecho, en donde se vende perico, café, refrescos, alimentos básicos, diesel, gasolina y hasta camiones, aunque algunos dirán que lo fuerte es el negocio de la prostitución y la droga.

El nombre de cachimba les viene de la práctica de echar diesel a un pequeño balde con una mecha que permanece encendida durante toda la noche, como una especie de faro para guiar a la ‘embarcación’ a buen puerto, en este caso a los viajeros, pues estas casas ingeniosamente mal elaboradas no cuentan con agua, mucho menos con energía eléctrica.” (Transporte.MX, 2017)

2.5 Algunos estudios sobre el consumo de droga en el autotransporte de carga

2.5.1 Caso 1. Estudio sobre condiciones laborales y la cadena de suministro (México 2017)

En este estudio se describe un análisis en México sobre la aplicación de un programa orientado a modificar las conductas de cuidado y seguimiento a la salud de los choferes. En él, se logró disminuir un 15% el número de accidentes y 24% los costos por colisión en una empresa de transporte. Se dice que el 13% de los trabajadores dieron positivo a pruebas antidoping de anfetaminas, 7% a cannabinoides, 3% a cocaína, 10% a nicotina y 5% a sustancias alcohólicas. Además, se plantea que el tabaquismo, el consumo de alcohol y la cocaína se asocian con los rasgos de personalidad de los choferes y se indica que 4% de los conductores tienen una dinámica familiar disfuncional y 6% tienen rasgos de personalidad que incluyen comportamientos hostiles e impacientes en el trabajo. Respecto al estrés, se encontró que se presenta una relación entre los niveles elevados de estrés socio laboral en los choferes con manifestaciones psicósomáticas y aunque no existe relación entre el consumo de alcohol y el estrés en los choferes del autotransporte, se presenta una tendencia al aumento de estrés en los transportistas que trabajan más de diez horas al día (Berrones, L., 2017).

2.5.2 Caso 2. Encuesta sobre el uso de Alcohol y drogas en conductores (Estados Unidos 2009)

Este informe presenta la primera estimación de prevalencia nacional de los E.U.A. sobre la conducción relacionada con drogas. Se basa en los resultados de los análisis de muestras de fluidos orales, sangre y aliento recolectadas durante la Encuesta Nacional en Carreteras sobre Manejo Implicado por Alcohol y Drogas de 2007 sobre la conducción relacionada con el alcohol y las drogas. Es uno de los tres informes que resumen los resultados de un estudio de 2007 realizado por el Instituto del Pacífico para la Investigación y Evaluación (PIRE).

En la Tabla 2.12 se resume el estudio realizado a través de una comparación de la clase de droga consumida por género en donde se observa que los conductores varones tenían una probabilidad significativamente mayor de dar positivo en la prueba de marihuana que las mujeres: 7.4% hombres frente a 5.6% mujeres (Moore, C., et al, 2009). También se observa que existe una gran cantidad de drogas disponibles con receta o de venta libre, que son consideradas lo suficientemente fuertes para ser peligrosas si se consumen mientras se conduce. Los datos mostrados sugieren que el consumo de dichas sustancias no hace distinción de género de la persona, sin duda los efectos alteran de formas similares tanto en hombres como en mujeres.

Tabla 2.12 Distribución de clases de drogas por género en os E.U.A.

Tipo de droga	Hombres %	Mujeres %	Total %
	N=1,992	N=1,278	N=3,270
Antidepresivos	1	1.2	1.1
Marihuana	7.4	5	6.7
Narcóticos-analgésicos	0.8	1	0.9
Sedantes	0.7	1.8	1.1
Estimulantes	1.8	2	1.9
Otros	0.4	0	0.2
Más de 1 tipo de clase	2.4	1.4	2
Fármaco positivo en gral.	14.5	13	13.9
Negativo	85.5	87	86.1

Fuente: Moore, C., et al. (2009)

2.5.3 Programas de prevención

La Secretaría del Trabajo y Previsión Social, la Secretaría de Salud y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) recomiendan a las empresas dedicadas al transporte diversos lineamientos en caso de detectar uso de drogas en sus operadores, los cuales se centran en un enfoque basado en pruebas, concientización del uso de enervantes y su impacto en la siniestralidad; prevención en toda la empresa, acuerdo de participación de todas las áreas y evitar discriminación sobre todo en aquellos que hayan dado positivo en un antidoping. Se debe garantizar la confidencialidad en la aplicación de pruebas y formalizar cadenas de custodia, así como proveer atención a casos de adicción.

Además, la SCT ha establecido el funcionamiento del Comité de Prevención de Accidentes de Carretera y Vialidad que trabaja para formular un programa de seguridad vial para las carreteras federales de México en donde entre sus iniciativas están: control de alcohol, drogas, la exposición a fatiga y lesiones, prevención de accidentes y la modificación de la conducta. El objetivo es identificar los resultados de los costos de accidentes al aplicar estrategias de control de consumo de sustancias lícitas e ilícitas en conductores de transporte de carga pesado (remolques).

Por otro lado, diversos autores recomiendan:

- Hacer una supervisión de las rutas por parte del responsable del área de tráfico
- Establecer como política dos descansos obligatorios para cada viaje
- Desarrollar campañas antidrogas en la empresa
- Definir programas de aplicación de pruebas para detectar el consumo de drogas y medicamentos de abuso.

De esta forma, bajo la aseveración de que, a mayores niveles de precariedad en las condiciones laborales, menor será el desempeño de los conductores y mayor será el riesgo de afectar la funcionalidad del transporte y la cadena de valor, se plantea la necesidad de determinar los factores que más influyen en la conformación de las condiciones laborales de los choferes. Se debe considerar que la competitividad de las empresas del autotransporte de carga y la de sus clientes está íntimamente relacionada con el nivel de satisfacción de los choferes de camión y, que esta a su vez, se deriva de las condiciones laborales que anteponen los mismos empresarios.

3. Identificación y análisis de tecnologías de seguimiento

Más allá del internet y el uso de tecnologías, el crecimiento de la cuarta revolución tecnológica continúa su avance con desarrollos que están modificando actividades y procesos de uso común. La automatización, la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, entre otros adelantos, nos proporcionan una cantidad de datos inimaginables que se pueden transformar en información para trabajar con ellos.

Las nuevas tecnologías están modificando los paradigmas de producción y consumo. Además de los cambios en el sector productivo, existen otros efectos en la salud, la educación, la vivienda, el transporte, etc., que abren un espacio de desafíos y oportunidades para el continuo desarrollo de los países (CEPAL, 2019).

En el sector transporte se observa un cambio tecnológico significativo, especialmente para el transporte terrestre, lo que ha permitido aumentar su competitividad, logrando un beneficio para los clientes, empresas, e incluso, hasta los conductores de las unidades. Estos últimos, por ejemplo, pueden saber el estado de las carreteras o el estado meteorológico en tiempo real, pudiendo variar la ruta, ahorrar combustible y tiempo si las condiciones de la ruta son desfavorables.

La inteligencia no solo se aplica a los factores externos, también se aplica a las condiciones del propio vehículo, ya que gracias a los sensores incorporados en este es posible detectar averías, rastrear su posición e incluso hacer un estudio del estilo de conducción de cada conductor.

3.1 Tecnologías de seguimiento

El concepto de rastreabilidad surge como un término que designa la capacidad de poder rastrear un objeto (Teknisa, 2018). En un escenario logístico, si agregamos tecnología e inteligencia, el proceso de rastreabilidad se ejecutará con mayor eficacia. Así, al insertar sensores en cada uno de los elementos físicos que intervienen en los procesos de transporte, se puede comenzar a intercambiar información en tiempo real.

3.1.1 Centrado en la unidad

Contar con un sistema de telemetría resulta importante para medir y controlar diversas variables involucradas en las unidades de carga. De acuerdo a Sitrack los principales aportes de la telemetría en las flotas vehiculares son:

- **Controlar de temperatura en la carga.** A través de la implementación de un sistema se podrán evaluar los grados centígrados de un contenedor o remolque y con ello evitar mermas.
- **Mantener la seguridad en la conducción.** Con el fin de controlar la conducción, la telemetría puede medir y controlar la velocidad y el manejo brusco de los conductores.
- **Prevenir el robo de la carga.** A través de un sistema de telemetría también se puede medir el peso de la carga, controlar la temperatura y cierre de puertas de la unidad. Cada que ocurra un evento inesperado en estas variables, se puede alertar de manera oportuna.
- **Evitar el mal uso de combustible.** Con esta tecnología se puede medir la carga del motor, aceleración, frenados bruscos, niveles de combustible y peso transportado, disminuyendo su consumo.

3.1.2 Enfocadas al autotransporte de carga

Las herramientas de rastreo aplicadas a la logística son capaces de canalizar y procesar diversas fuentes de datos para la planificación logística, la toma de decisiones y la optimización de los procesos. De acuerdo a Beetrack (2021) las tres tecnologías más utilizadas en el ámbito del monitoreo y rastreo vehicular son las siguientes.

3.1.2.1 Internet de las Cosas (IoT)

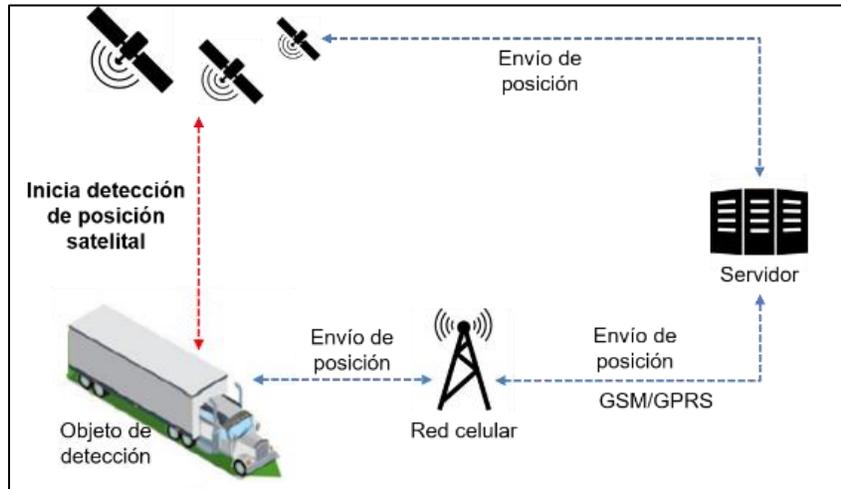
El Internet de las Cosas es el conjunto de tecnologías que nos permiten conectar objetos a la red para obtener información de ellos (Tapia, I. 2021). Este paradigma debe cumplir tres características:

- **Bajo consumo.** Los dispositivos deben consumir poca energía.
- **Inalámbricos.** Normalmente no necesitan cables.
- **Autosuficientes.** No requieren de la interacción humana debido a que consumen poca energía y están comunicados a una red.

El avance tecnológico en la electrónica ha permitido integrar componentes muy pequeños en dispositivos capaces de monitorear la actividad de objetos sin importar su forma. Esta evolución ha permitido implementar sistemas basados en IoT de gran impacto en el ámbito logístico, ya que posibilita la obtención eficiente de información a partir de sensores colocados en cualquier lugar, como la unidad vehicular, el remolque, la carga, y ahora también los operadores. Con ello se puede conocer el rendimiento de los vehículos, el desempeño de los transportistas, el estado de las mercancías, etc.

3.1.2.2 Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS).

Es un sistema de satélites basado en el espacio que proporciona información de ubicación (longitud, latitud, altitud) e información de tiempo en todas las condiciones meteorológicas y en cualquier lugar de la tierra a dispositivos llamados receptores. Estos últimos son capaces de utilizar distintas constelaciones de satélites para emitir señales que, a través del método de trilateración, logran determinar la ubicación de un objeto en particular (Dewesoft. 2021).



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.1 Ejemplo de funcionamiento de un Sistema Global de Navegación por Satélite

Utilizar más de un sistema de navegación por satélite (GPS, GLONASS, Galileo, COMPASS o BeiDou) en combinación con múltiples sensores (giroscopio, acelerómetro, magnetómetro, presión) y algoritmos, garantiza la mejor cobertura de señal y mayor precisión en el posicionamiento.

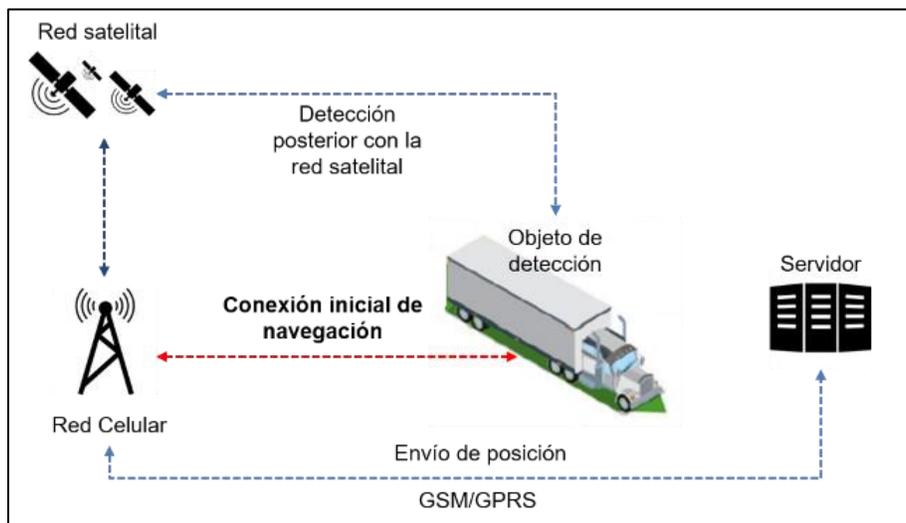
Además de obtener la ubicación en tiempo real, los sistemas de rastreo aportan diversas funcionalidades efectivas durante el movimiento de la carga, algunas de estas son:

- obtener información sobre los kilómetros recorridos, así como cualquier desvío del conductor;
- conocer la velocidad de la conducción, así como la manera de conducir de los operadores, y en caso de alguna violación, actuar de manera correctiva;
- la detección temprana y activación de alarma en caso de fatiga del conductor;
- detección de las líneas de carril en las carreteras para prevenir los riesgos de conducción generados al rebasar, salir del carril o cuando está demasiado cerca de un vehículo;

- alertas de aperturas de puertas y exceso de velocidad.

3.1.2.3 Sistema de Posicionamiento Global Asistido (A-GPS)

Esta tecnología se le conoce comúnmente como GPS Asistido, y se encuentra incorporada en una variedad de dispositivos como relojes inteligentes, teléfonos de alta gama, etc. El proceso de localización y posicionamiento se realiza a través de un receptor GPS, y con la ayuda de un software, se envía a un servidor externo la identificación de la antena celular donde se encuentra conectado el móvil, posteriormente se obtiene como respuesta los satélites situados encima de su posición. Así, una vez que se haya establecido un primer posicionamiento fiable, el dispositivo seguirá posicionando con los datos recibidos de los satélites.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.2 Ejemplo de funcionamiento de un Sistema Posicionamiento Global Asistido

De esta manera, la conexión inicial de navegación es más rápida, algo de vital importancia cuando la conexión con los satélites es débil o existe una emergencia (El Español, 2019). La rapidez de funcionamiento es el aspecto más importante del A-GPS, característica muy útil para las aplicaciones de uso logístico.

Cabe señalar que existen dispositivos con tecnología apta para detectar redes de comunicación satelital, GSM y GPRS. Estos dispositivos resultan muy útiles para el rastreo de objetos en zonas sin cobertura celular, pues únicamente utilizan la red satelital para realizar todo el proceso de rastreo, es decir, ubica, posiciona y envía información, a través de la tecnología satelital (GNSS).

Tradicionalmente, el monitoreo estaba centrado únicamente en las unidades de carga, sin embargo, con la reciente llegada de los dispositivos “vestibles”, conocidos comúnmente como *wearables*, y aprovechando la ventaja de uso personal por la

que fueron concebidos, ahora es posible conectar a los conductores y con ello, monitorear el comportamiento de su salud al momento de conducir.

3.1.2.2 Tecnologías de monitoreo enfocadas al individuo

La capacidad de uso de los *wearables* en el ámbito de la salud digital ha crecido de forma proporcional a su nivel de desarrollo. Actualmente su uso se ha ampliado como coadyuvante para el control o tratamientos médicos a través de la obtención de métricas de actividad estándar que abordan diversos aspectos de la salud y bienestar de los individuos.

Las aplicaciones prácticas que pueden tener los *wearables* para el monitoreo de la salud están dirigiendo esfuerzos para ayudar a prevenir accidentes viales. En este sentido, las mediciones de variables fisiológicas como la frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y frecuencia respiratoria, son de interés para validar el buen funcionamiento biológico del operador durante la conducción, en correlación con otras variables como la calidad del sueño y el nivel de estrés.

Monitorear estas variables facilitan la identificación de diversas condiciones en las que los conductores podrían estar expuestos, por ejemplo: estrés, ansiedad, enfermedades cardíacas, sobresaltos, incluso intoxicación por la ingesta o inhalación de sustancias tóxicas.

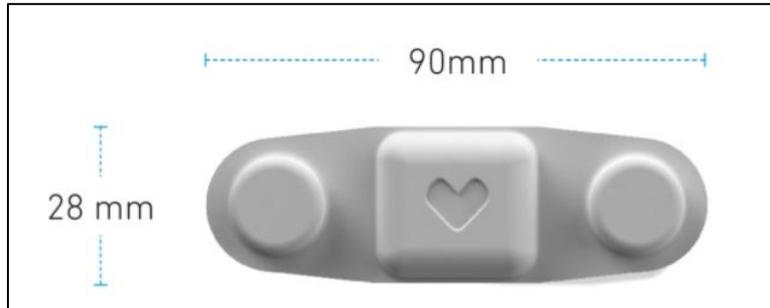
Una de las mediciones que más interés ha despertado en los últimos años es la obtención de valores a partir de la saturación de oxígeno en la sangre, útil para determinar las fases del sueño e incluso para detectar problemas respiratorios como la neumonía asociada al COVID-19 en etapas tempranas. Básicamente, el monitoreo de la saturación de oxígeno en la sangre se emplea para comprobar si alguien necesita asistencia respiratoria o si está experimentando problemas respiratorios, dando como resultado la presencia de diversos problemas como la apnea del sueño, trastornos cardiovasculares (hipertensión o arritmia), problemas respiratorios, obesidad, entre otros (Rodríguez, E., 2020).

Los sensores ópticos que miden la frecuencia cardíaca son una tecnología que utiliza la fotopleletismografía, la cual, usa luces LED verdes con fotodiodos sensibles a la luz que puede detectar en un momento específico, la cantidad de sangre que fluye por la muñeca, es decir, cuando se emiten cientos de intermitencias por segundo, se puede calcular el número de veces que el corazón late por minuto.

3.2 Principales tecnologías wearables

Desde parches hasta diademas resultan ideales para la medición del ritmo cardíaco. A continuación, se describe una serie de tecnologías para monitorear la frecuencia cardíaca de las personas.

Wearable ECG Monitor. Esta tecnología permite el monitoreo remoto a través de un parche cardíaco multifunción que puede transmitir (vía streaming o grabación) diversos parámetros a un dispositivo móvil o la nube. Es reutilizable, recargable, resistente al agua y puede registrar datos, como: ritmo ECG, ritmo cardíaco, intervalo RR y la frecuencia respiratoria. A través de estos datos, se puede detectar: fibrilación auricular², enfermedad de las arterias coronarias, estrés, depresión, etc. Su batería dura hasta 96 horas, puede almacenar datos durante 24 horas y opera a través de la red de Bluetooth de Baja Energía (BLE).

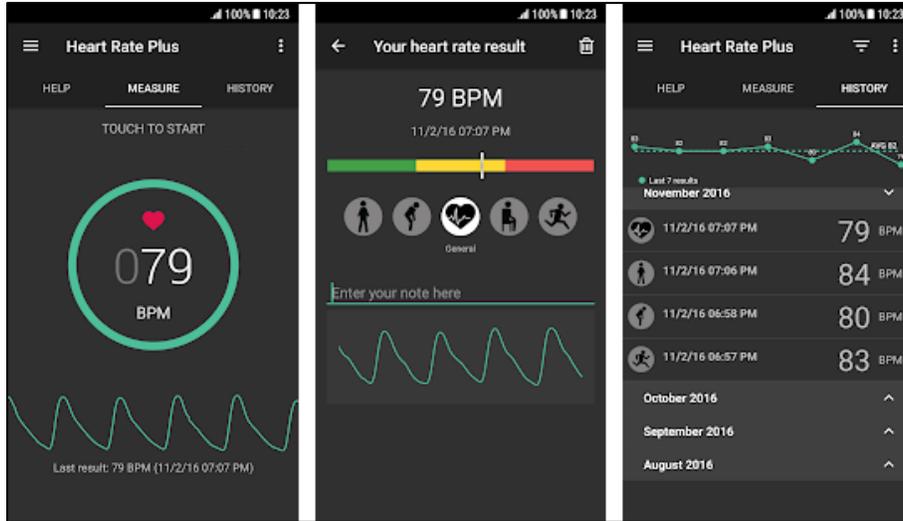


Fuente: VIVALINK (2021). En <https://www.vivalink.com/wearable-ecg-monitor?hsCtaTracking=8cd46b46-7b46-4512-adb3-54be2a430584%7C33a608c6-4e99-4629-947e-96dc50370c3b>

Figura 3.3 Wearable ECG Monitor

Aplicaciones que miden la frecuencia cardíaca. Las plataformas de distribución digital de aplicaciones móviles, ofrecen diversas aplicaciones gratuitas que permiten la monitorización y seguimiento de la frecuencia cardíaca. Para operar estas aplicaciones, se debe colocar el dedo índice durante diez segundos sobre la lente de la cámara del teléfono, posteriormente medirá y mostrará un gráfico del pulso en tiempo real. Además, se registran las mediciones logrando tener un historial de análisis de seguimiento. Cabe señalar que estas aplicaciones no detectan la presión arterial y advierten no usarlas como dispositivo médico. En la Figura 3.4 muestra un ejemplo de la medición de frecuencia cardíaca.

² La fibrilación auricular (FA) es una arritmia cardíaca común que suele no detectarse. El intervalo RR y las señales de electrocardiograma (ECG), incorporadas en un sistema de monitorización, pueden ser útiles para rastrear eventos de FA.



Fuente: obtenido de Google Play.

Figura 3.4 Aplicación “Heart Rate Plus”

Diadema Yapige. Este dispositivo busca prevenir somnolencia en conductores, a partir de diversas variables como: parpadeo, cabeceo y frecuencia cardíaca. Una vez analizadas estas variables, el sistema podrá determinar si es necesario emitir una serie de vibraciones y sonidos que pongan en alerta al usuario para que pueda tomar medidas precautorias.



Fuente: obtenido de TecReview. En: <https://tecreview.tec.mx/2019/08/07/tecnologia/este-dispositivo-mexicano-busca-prevenir-somnolencia-en-conductores/>

Figura 3.5 Sistema denominado “Yapige”

Brazalete Steer. El objetivo de este dispositivo es mantener al conductor despierto a base de vibraciones y descargas eléctricas (sólo en los casos de quedar dormido). Steer mide la frecuencia cardíaca normal y los niveles de conductancia de la piel durante un minuto con 15 sensores de alta precisión, después, cada 2 segundos comienza a analizar su condición. Si el color del brazalete cambia a amarillo, esto indica que tu frecuencia cardíaca ha disminuido en 10 unidades, por lo que te emitirá una vibración en el cuerpo. En el último caso (color rojo), advertirá con un impulso

eléctrico ligero pero notable, después de que el nivel de conductancia de la piel disminuya.

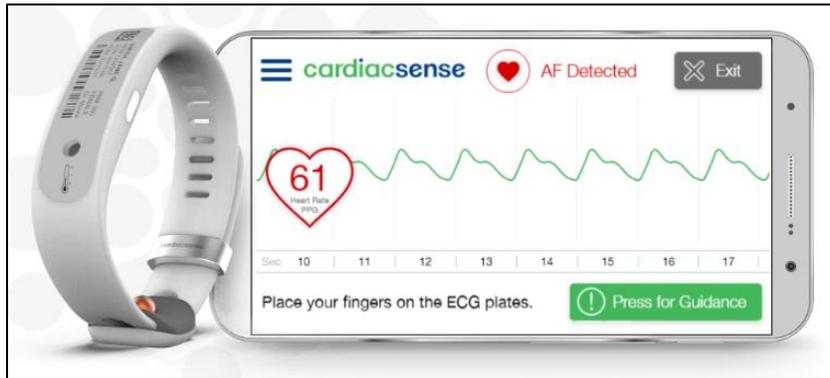


Fuente: obtenido de López Dóriga Digital. En: <https://lopezdoriga.com/ciencia-tecnologia/la-pulsera-que-impide-dormirse-al-volante/>

Figura 3.6 Brazalete STEER

Brazalete CardiacSense. Este brazalete monitoriza signos vitales como la presión sanguínea, frecuencia respiratoria, temperatura y saturación de oxígeno. Además, notifica en tiempo real a la central de monitoreo cuando el brazalete detecte un problema. Esta tecnología logra detectar arritmia cardiaca como fibrilación auricular, taquicardia, bradicardia y paros cardiacos. La monitorización es continua durante las 24 horas, los 7 días de la semana, el único momento en que no monitoriza es cuando se carga el brazalete.

El brazalete se conecta por bluetooth al teléfono y se puede acceder al historial de las mediciones en la nube. Además, a través de un portal, las personas autorizadas podrán acceder a toda la información en cualquier momento.

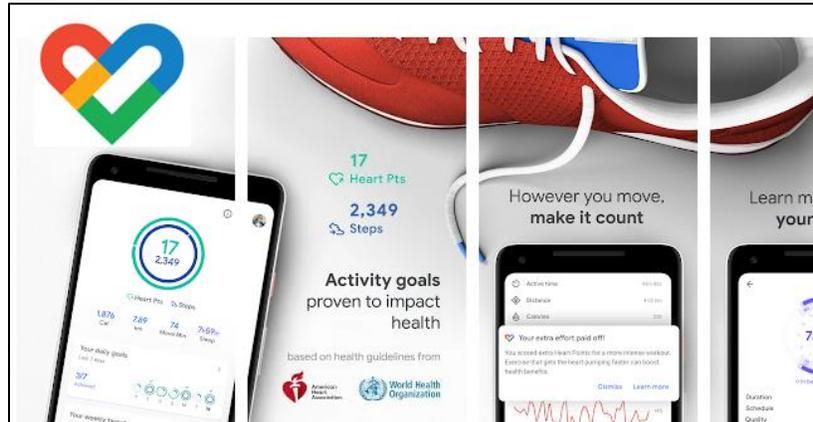


Fuente: obtenido de Cardiac Sense. En: <https://www.cardiacsense.com/el-brazalete/>

Figura 3.7 Brazalete CardiacSense

App de Google Fit. El objetivo de esta tecnología es monitorear el ritmo cardiaco y respiratorio, los cuales son primordiales para identificar cómo se encuentra físicamente una persona. A través de inteligencia artificial, el aprendizaje automático y diversos sensores, los dispositivos “Pixel” son capaces de llevar a cabo dichas mediciones.

Para medir la frecuencia respiratoria, la persona se tiene que colocar frente a la cámara frontal del teléfono y respirar normalmente. Para detectar la frecuencia cardiaca bastará colocar la punta del dedo en la cámara trasera del dispositivo. Con ello, se podrá proporcionar un indicador de cuándo fluye la sangre oxigenada desde el corazón al resto del cuerpo (Forbes Staff, 2021).



Fuente: obtenido de Google Play.

Figura 3.8 Aplicación de Google Fit

Pulsómetro de banda. Para medir la frecuencia el fabricante Polar lanzó al mercado el modelo OH1, el cual permite registrar las pulsaciones en una memoria interna que puede almacenar hasta 200 horas de datos, o bien, se puede vincular a un teléfono móvil a través de Bluetooth.

Este fabricante ofrece dos modelos: una banda pectoral y un sensor óptico (se lleva en el brazo). Cabe destacar que los electrodos de la banda pectoral necesitan estar húmedos para que funcione, por ello, resulta más practico el uso del sensor óptico.

A diferencia de otras tecnologías, los pulsómetros de banda calibran con mayor precisión la monitorización del ritmo cardiaco. Estas bandas se pueden colocar en el pecho (banda pectoral) o bien, en el brazo (sensores ópticos). En la Figura 3.9 se muestra un ejemplo de esta banda.



Fuente: obtenido de Polar.

Figura 3.9 Pulsómetro de banda

Estimación del intervalo entre latidos a partir de un video facial basado en la confiabilidad de las señales de pulso de volumen sanguíneo.

Y. Maki, Y. Monno & K. Yoshizaki (2019) proponen en un artículo un marco para la estimación precisa de intervalos entre latidos (IBI, por sus siglas en inglés) y la variabilidad de frecuencia cardíaca (HVR, por sus siglas en inglés) a partir de un video facial basado en la confiabilidad de las señales extraídas del pulso de volumen sanguíneo (BVP, por sus siglas en inglés). Primero se extraen las señales de BVP de múltiples parches faciales muestreados aleatoriamente, posteriormente se evalúan en función de una métrica de confiabilidad para seleccionar la señal más confiable a partir de la cual se calcula el intervalo entre latidos. Esta propuesta de marco de referencia afirma que puede estimar IBI y HVR con mayor precisión que un marco convencional basado en una sola región de la cara.

Teledetección: medición a distancia de la frecuencia cardíaca. El uso de señales inalámbricas simplifica y abarata la monitorización de este tipo de mediciones respecto al uso de dispositivos *wearables*, además, elimina algunos de sus inconvenientes como reacciones adversas en la piel o la necesidad de cargar las baterías.

Esta tecnología fue elaborada por expertos del Centro de Innovación de la Universidad de Kioto en Japón, en colaboración con la empresa Panasonic Corp. A través de la teledetección, se combina la tecnología de radar de ondas milimétricas con un algoritmo de análisis de señales identificadas desde el cuerpo (NCYT Amazings, 2016). En este sentido, la teledetección será un incentivo para que la gente monitorice su estado de salud en más ocasiones de lo que probablemente lo haría.

El equipo de desarrolladores continúa realizando pruebas sobre la capacidad de medición. Se espera que el sistema pueda monitorear sujetos en varios rangos de edad y en diferentes contextos (spa.sciences-world.com, 2021).

Chaleco Kinesowear. La consultora de diseño de productos Argodesign presenta una propuesta lanzada por la compañía Apple. Se trata de Kinesowear, un *wearable* tipo chaleco inteligente que se adhiere como una cinta a la espalda del usuario y se comunica mediante tirones de hombro silenciosos y matizados. Puede usarse durante semanas, incluso cuando se recarga de forma inductiva a través de cargadores que pueden estar en sillas o en la cama.

Se prevé que este dispositivo funcione con otros dispositivos informáticos, como los teléfonos inteligentes, para ofrecer señales al usuario, a través de patrones o la intensidad de la sensación. Por lo pronto, solo es un prototipo y se espera agreguen funcionalidades extra que permitan monitorizar la frecuencia cardíaca del individuo.



Fuente: Obtenido de Argodesign.

Figura 3.10 Wearable Kineseowear

Omron HeartGuide. Este *wearable* cuenta con un medidor de presión arterial. Para realizar esta medición, tiene incorporado un mecanismo inflable como los que se encuentran en un tensiómetro, solo que adaptado a su uso en la muñeca. La autonomía de su batería está relacionada con el número de medidas diarias. Se puede conectar por Bluetooth al teléfono.



Fuente: obtenido de Omron.

Figura 3.11 Omron HeartGuide

Para realizar la medición de la presión arterial se tiene que pulsar un botón y poner el brazo ligeramente levantado contra el pecho. El brazalete comenzará a inflarse y comenzará a medir. Una vez que termine mostrará la tensión arterial sistólica y diastólica, y las pulsaciones por minuto. Por otro lado, informa sobre los pasos (podómetro) y las horas de sueño, el tiempo de sueño profundo, ligero o si se despertó a la mitad de la noche.

4. Arquitectura del sistema propuesto

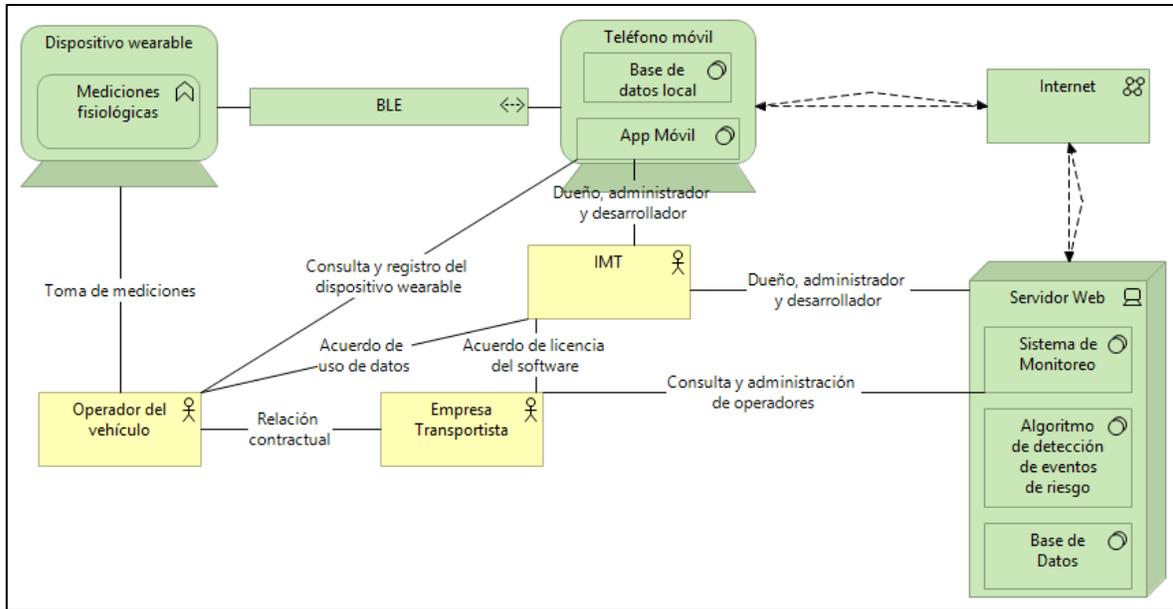
En esta sección se propone la arquitectura de un sistema cuyo objetivo es el de monitorear el estado de salud del operador en tiempo real, determinar si se encuentra en un buen estado para realizar sus actividades y, en caso contrario, informar, tanto al operador como al personal designado por la empresa, del posible riesgo en el que se puede encontrar.

Los usuarios a los que estará enfocado el sistema serán las empresas de autotransporte de carga y los operadores de los vehículos. Se puede llegar a dar el caso de que la empresa y el operador sean el mismo usuario. El dueño, administrador y encargado del desarrollo y mantenimiento del sistema será el IMT.

De acuerdo al objetivo planteado, en la Figura 4.1 se presenta la arquitectura del sistema que ayudará a cumplirlo. Como se observa, en este caso el usuario (operador del transporte de carga) tendrá asignado un dispositivo *wearable* que cuente con sensores fisiológicos (por ejemplo, ritmo cardíaco y niveles de oxígeno en la sangre) y la característica de monitoreo del sueño. Además, el dispositivo *wearable* debe contar con Bluetooth 4.0 como mínimo.

El dispositivo comunicará la lectura de los sensores al teléfono inteligente a través de una conexión *bluetooth* y el protocolo BLE (*Bluetooth Low Energy*), el cual también debe contar con al menos Bluetooth 4.0 y conexión a una red móvil con acceso a internet. Para realizar la conexión y recolección de los datos será necesario el desarrollo de una app para el dispositivo móvil.

Todos los datos recolectados serán enviados por la internet con el protocolo TCP/IP a un servidor que cumplirá la tarea de almacenar los datos y analizarlos, además de albergar una página web para su consulta. Del análisis realizado de los datos se identificarán de manera automática los posibles escenarios que se consideren de riesgo para el operador y la alerta correspondiente será notificada.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4.1 Propuesta de arquitectura del sistema

A continuación, se describen cada uno de los elementos que intervienen en el sistema propuesto. También, se justifica la arquitectura propuesta a través del análisis y discusión de trabajos similares disponibles en la literatura.

4.1 Bluetooth de baja energía (BLE)

Una de las principales desventajas que se pueden observar en la literatura, sobre sistemas similares al aquí expuesto, es la dependencia que existe tanto del tipo tan específico de dispositivo utilizado para realizar las mediciones, como del software utilizado. Por ejemplo, en el trabajo de Herrera y sus colaboradores (2019) presentan un sistema de monitoreo de actividades para estudiantes a través de relojes inteligentes, usando específicamente la marca de Microsoft junto con sus herramientas de desarrollo de software. El problema es que las bandas inteligentes de Microsoft se dejaron de producir, desarrollar y dar soporte ese mismo año (Microsoft Corporation, 2021). Esta situación puede llegar a ocurrir con cualquier dispositivo, sin embargo, el principal inconveniente es que el programa fue desarrollado con el software oficial, el cual es específico para los dispositivos de la marca.

Otro ejemplo se presenta en el trabajo de García (2016), quien en su trabajo de fin de grado propone una aplicación para identificar ataques de epilepsia analizando datos recolectados a través de un dispositivo wearable. El dispositivo usado para realizar las mediciones fue AngelSensor, un dispositivo desarrollado a través de recaudación de fondos, la cual parece haber desaparecido después de unos años, quedando sin soporte ni desarrollo. El trabajo de García (2016) fue desarrollado con el software que ofrecía la marca y que solo funciona con sus dispositivos.

Se propone que la comunicación entre el dispositivo *wearable* y el teléfono móvil sea a través de una app que cuente con un módulo basado en un protocolo de comunicación independiente de la marca de los dispositivos, estándar y ampliamente implementado. Así, el protocolo de comunicación que se propone usar es BLE.

En el año de 1999 se desarrolló el Bluetooth clásico y se diseñó para la transferencia de datos de manera inalámbrica y continua (lo que conlleva a un mayor consumo de energía). En la actualidad es ampliamente usado para la transmisión de audio como en los teléfonos móviles, los audífonos y las bocinas inalámbricas. Tras varias versiones de Bluetooth, en el año 2010 apareció el Bluetooth 4.0. Esta versión incluye tanto el Bluetooth clásico como el Bluetooth de Baja Energía. El BLE es una tecnología de comunicación inalámbrica de menor potencia y de bajo consumo energético. Es utilizada mayormente en dispositivos *wearables*, dispositivos inteligentes *IoT*, equipo de monitoreo físico y accesorios alimentados por baterías, como accesorios y periféricos. En la Tabla 4.1 se resumen las aplicaciones de manera general.

Tabla 4.1 Comparación de las aplicaciones del Bluetooth clásico contra el BLE

Escenarios de aplicación	Transmisión de audio	Transmisión de datos	Servicios de localización	Red de dispositivos
	Audífonos inalámbricos	Equipo de monitoreo de actividad física y deportes	Servicios Beacon	Sistemas de control
	Bocinas inalámbricas	Equipo médico y de salud	Servicios de navegación en interiores	Sistemas de monitoreo
	Sistema de info-entretimiento del automóvil	Accesorios y periféricos	Seguimiento de activos	Sistemas de automatización
Modo de comunicación	Uno-a-uno	Uno-a-uno	Uno-a-uno (transmisión)	Varios-a-varios (malla)
Modo de radio frecuencia	Bluetooth clásico	Bluetooth de baja energía		

Fuente: NORDIC SEMICONDUCTOR (2021).

Para la comunicación, tanto Bluetooth clásico como el BLE, hacen uso de la misma banda (2.4 GHz), sin embargo, no son compatibles entre ellos. Dispositivos como los teléfonos inteligentes se encuentran habilitados para trabajar en un modo dual, lo que significa que los chips cambian continuamente entre los dos modos para soportar dispositivos tanto Bluetooth clásicos como dispositivos BLE (NORDIC SEMICONDUCTOR, 2021).

4.2 Dispositivos wearables

Un *wearable* es un dispositivo informático que acepta y procesa entradas, que generalmente funciona como un accesorio de moda. Entre sus características se encuentran las siguientes: debe funcionar a manos-libres, ser portable, útil, confiable, práctico, transmitir información de manera eficaz y lograr la aceptación por parte de los usuarios. También deben considerar ciertos atributos en su diseño, como son: el tamaño y la dimensión de los dispositivos, la fuente de alimentación, el calor, el peso, la durabilidad, la capacidad de lavado, la funcionalidad, la usabilidad, la sensación y la conectividad (MESUT, 2015).

Es importante mencionar que en la literatura se pueden encontrar propuestas de desarrollo de dispositivos *wearables* (Vélez, 2020). Sin embargo, estas propuestas presentan inconvenientes como el costo de producción, diseños poco prácticos, ausencia de atributos básicos como la resistencia al agua, la falta de un plan de soporte o desarrollo a largo plazo. Para la presente propuesta se decidió optar por dispositivos económicos, con diseños prácticos y con aceptación por parte de los usuarios.

Así, para la arquitectura planteada en el presente estudio, se enfocó en analizar las marcas que ofrecen dispositivos *wearables* y, en específico, que se puedan clasificar ya sea como bandas inteligentes o relojes inteligentes.

Además, para determinar el dispositivo a usar, se buscó que estos ya hayan sido analizados en otros estudios. Por ejemplo, donde sea evaluada la precisión de sus sensores o en el monitoreo de la salud de los usuarios. También se buscó evidencia de la posibilidad de conexión de estos dispositivos con aplicaciones que no sean las oficiales de la marca y comunicación basada en el protocolo BLE.

En cuanto a la evaluación de la precisión de los sensores de estos dispositivos, en el trabajo de (Fuller, y otros, 2020) se realiza una revisión de la literatura con base en 158 publicaciones. Su objetivo fue examinar la validez y confiabilidad de dispositivos comerciales con respecto a la medición del número de pasos, ritmo cardíaco y gasto energético que realizan. Se revisaron un total de 158 publicaciones y se identificaron nueve marcas en la muestra (Apple Inc, Fitbit, Garmin, Mio, Misfit, Polar, Samsung, Withings y Xiaomi), de las cuales Fitbit es la marca más estudiada.

Fuller y sus colaboradores (2020) concluyen que la confiabilidad de las mediciones del ritmo cardíaco y el número de pasos es aceptable, pero existe una variación por marca y modelo. Con respecto al gasto energético, ninguna marca es precisa. Es importante mencionar que en la mayoría de los estudios se trabajó en condiciones controladas.

Por ejemplo, un caso en específico es el trabajo de (Xie, y otros, 2018), en el cual evaluaron dispositivos para medir indicadores relacionados con la aptitud física en diversas actividades. Para la evaluación se estimó el error medio de porcentaje absoluto (MAPE, por sus siglas en inglés) para reflejar la diferencia entre el valor

medido y el valor verdadero. En cuanto al monitoreo del ritmo cardiaco, cuatro dispositivos fueron evaluados (Apple Watch 2, Samsung Gear S3, Fitbit Surge y Xiaomi Mi Band 2), siendo el Samsung Gear S3 el que presentó un menor MAPE con un valor de 0.04, seguido por el Apple Watch 2 y el Fitbit Surge con valores de 0.07 y 0.08 respectivamente. El menor desempeño se presentó en el dispositivo de Xiaomi con un MAPE de 0.12.

En el mismo estudio, con respecto al monitoreo del sueño los resultados arrojaron que el Samsung Gear S3 tiene el menor MAPE y el Xiaomi Mi Band 2 el mayor, con valores de 0.06 y 0.12 respectivamente. Es importante mencionar que el dispositivo Apple Watch 2 fue usado como criterio de referencia en las mediciones de sueño y mencionan que en otros estudios lo hacen de esta manera. Por otro lado, el modelo de Fitbit Surge que se analizó no cuenta con esta característica. Xie y sus colaboradores (2018) concluyen que en cuanto al monitoreo del ritmo cardiaco y la duración del sueño los dispositivos analizados pueden usarse de manera efectiva.

Una característica relativamente nueva en los dispositivos *wearables*, es la medición de oxígeno en la sangre. En los estudios antes mencionados no se incluye un análisis de estas mediciones, dado que los dispositivos analizados hasta ese momento no contaban con esta característica. Se buscaron estudios recientes donde se haga tal evaluación, sin embargo, no se encontró alguno. En el futuro estudio donde se implemente el sistema que aquí se propone, se puede incluir una nueva evaluación de confiabilidad de las mediciones del dispositivo que se decida usar.

Pasando al tema de la evidencia de comunicación de los dispositivos con el protocolo BLE y aplicaciones no oficiales, se observa en la literatura el uso de la banda inteligente Xiaomi MiBand 2 (Coutinho, Neto, Oliveira, Moreira, & de Souza, 2018) (Peñate Garrido, 2017) o Microsoft Band 2 (Filippoupolitis, Oliff, Takand , & Loukas, 2017). Otras marcas y modelos no fueron encontradas.

La prueba más importante que se encontró de la conexión a través de aplicaciones no oficiales es la existencia de la aplicación Gadgetbridge (Shimokawa, Pfeiffer, & Gobbetti, 2021). Esta aplicación permite conectar alrededor de 50 modelos de diferentes marcas de relojes y bandas inteligentes. Los principales modelos en los que se enfoca son Pebble, Mi Band, Amazfit Bip y HPlus; y no se encuentran modelos de Apple, Samsung o Fitbit. Además, en su Wiki presentan una sección donde explican métodos de ingeniería inversa para decodificar el protocolo bluetooth de un dispositivo que sea de interés y no se incluya en su repertorio, con el fin de lograr su conexión a través de BLE.

Se puede observar que los dispositivos *wearables* de la marca Xiaomi cumplen con la condición de haber sido evaluados en estudios anteriores y existe evidencia de su comunicación a través de aplicaciones de terceros.

4.3 Descripción de la aplicación móvil

La aplicación móvil que se propone desarrollar, debe ser capaz de conectarse al dispositivo *wearable* con Bluetooth 4.0 usando el protocolo BLE, ya antes mencionado. Debe realizar peticiones de datos fisiológicos en periodos de tiempo predeterminados y enviarlos al servidor para su análisis. En caso de no tener acceso a internet, ya sea por falta de cobertura o un plan de datos activo, deberá almacenar la información recolectada en una base de datos local, hasta que sea posible su envío y/o se cuente con espacio de almacenamiento local suficiente. La parte de la aplicación encargada de la comunicación con el dispositivo *wearable* debe ser, en lo posible, suficientemente adaptable a diferentes marcas de dispositivos. Un ejemplo de una app como la que se plantea es la aplicación Gadgetbridge (Shimokawa, Pfeiffer, & Gobbetti, 2021) para Android, ya antes mencionada, la cual recolecta y muestra las mediciones fisiológicas, pero no las envía a un servidor. El código de esta app es abierto y puede ser tomado como base para el desarrollo propuesto.

Otro ejemplo se presenta en el trabajo de tesis de Peñate Garrido (2017), cuyo objetivo fue el desarrollar una aplicación Android capaz de recolectar los datos capturados por una pulsera inteligente Xiaomi MiBand 2, utilizando el protocolo BLE. Su propuesta se limitaba a la captura y envío de los datos a un servidor para visualizarlos en una página web. Un ejemplo más es el trabajo de Coutinho, Neto, Oliveira, Moreira y de Souza (2018), quienes proponen un sistema para monitorear la actividad física de pacientes y controlar su comportamiento sedentario a través de alertas. El sistema se compone de una app que recolecta los datos y los envía a un servidor. Las alertas son enviadas de manera manual por personal que analiza los datos recolectados. También hacen uso de una pulsera inteligente Xiaomi MiBand 2 y el protocolo BLE.

Algunos requisitos identificados para la aplicación y que se consideran importantes son:

- Permitir el ingreso del operador por nombre de usuario y contraseña.
- Permitir el registro de un dispositivo *wearable* y solo uno a la vez.
- Permitir dar de baja el dispositivo *wearable*.
- Consultar la información del usuario.
- Almacenar la información del usuario de manera local.
- Recibir alertas del sistema de monitoreo.
- Permitir indicar el inicio o fin del viaje del operador.
- Permitir iniciar, pausar o detener la recolección de datos (Opciones que habilitará o deshabilitará el encargado de la empresa según considere apropiado).

- Envío de la información del usuario al servidor de manera automática.
- Envío de alertas del usuario al servidor, a solicitud de éste.

De acuerdo con estos requisitos, el usuario podrá ingresar a la aplicación una vez instalada en su dispositivo móvil, con el usuario y contraseña que le asigne la empresa. Cada vez que cambie de dispositivo wearable, será capaz de dar de baja el anterior y/o registrar el nuevo. El usuario podrá consultar su información en pantalla, recibir alertas de riesgo y la aplicación almacenará toda la información cuando no sea posible enviarla. El usuario podrá indicar el momento en que inicia y finaliza su viaje, independientemente de la programación que realice el administrador de la empresa, esto como información complementaria para considerar en el análisis de los datos. El permitir que el usuario pueda iniciar, pausar o detener la recolección de datos, se considera una medida importante para respetar su privacidad, sin embargo, se corre el riesgo de que el usuario no administre adecuadamente esta característica y entorpezca el monitoreo. Por último, la aplicación enviará los datos recolectados al servidor y se considera agregar una opción para enviar alertas a petición del usuario.

La información que se considera importante recolectar y enviar al servidor es la siguiente:

- Ritmo cardíaco.
- Comportamiento del sueño.
- Nivel de oxígeno en la sangre.
- El resto de datos que registre la pulsera (calorías, número de pasos, etc.).
- La posición GPS (cuando se detecte una alerta en ruta).
- Estado del dispositivo *wearable* (conectado, desconectado).
- Otros eventos que no se hayan considerado y se puedan registrar a través del dispositivo *wearable* o el móvil.

Cuando los operadores ingresen por primera vez a la aplicación móvil, tendrán que aceptar un acuerdo de uso de datos por parte del IMT. Después podrán dar de alta su dispositivo wearable.

4.4 Sistema de monitoreo, análisis de los datos y base de datos

Del lado del servidor, se propone desarrollar un sistema de monitoreo que ira recibiendo y administrando toda la información generada por las empresas. La información será almacenada en una base de datos. El sistema de monitoreo permitirá dar seguimiento al estado fisiológico de los operadores a través de herramientas gráficas, indicadores y un algoritmo de detección de eventos de riesgo. Algunos requisitos a considerar son los siguientes:

- Permitir el registro a nuevas empresas transportistas.
- Alta de operadores por parte del administrador de la empresa transportista.
- Baja de operadores por parte del administrador de la empresa transportista.
- Monitoreo de los operadores. Visualizar el estado de los indicadores y, en caso de alerta, la posición del operador y datos de contacto.
- Análisis de los datos.
- Programar hora y fecha del inicio y final de los viajes para realizar el monitoreo.
- Generar y enviar alertas.
- Registrar destinatarios para las alertas.
- En la base de datos, un operador puede llegar a tener varios dispositivos *wearables* registrados.

Por cuestiones de privacidad y seguridad se sugiere que la posición GPS solo sea capturada y almacenada a partir de una alerta y por un tiempo determinado. La alerta deberá haberse generado dentro del periodo de tiempo que haya indicado el administrador de la empresa.

Con respecto al análisis de los datos, un reto a considerar es la cantidad de registros que puede llegar a generar un usuario al día. Como se menciona en el trabajo de Barrera-Animas (2017), se llegaron a generar 1,670,160 registros por usuario al día, por lo que el tiempo requerido para realizar el entrenamiento de sus algoritmos podía ser de todo un día. Por este motivo se considera que en un inicio el sistema genere alertas con base en ciertos límites que se programen para cada medida fisiológica. Conforme se obtengan muestras de datos se iniciará en otras etapas la propuesta de nuevos procesos de análisis de los datos para determinar situaciones de alerta más precisas.

El servidor también hospedara la base de datos correspondiente. Se debe analizar si es necesario contar con un servidor dedicado y las características necesarias para recibir en tiempo real datos desde diferentes fuentes de información (cada uno de los dispositivos móvil de los operadores).

4.5 Usuarios

Los usuarios del sistema serán las empresas transportistas y los operadores de los vehículos, quienes serán monitoreados en tiempo real. Las empresas transportistas podrán acceder a la página web del sistema y registrarse, firmando antes un acuerdo de uso del software, así como un acuerdo de uso de datos. La empresa puede ser desde un operador que cuente con una unidad de transporte hasta empresas con una flotilla. El usuario que registre la empresa podrá dar de alta a los operadores, asignando usuario y contraseña a cada uno, para el acceso a la aplicación móvil.

5. Propuesta sobre el procesamiento de datos

La identificación temprana de riesgos para los operadores del autotransporte de carga requiere observar su condición física a través del tiempo. Esto puede hacerse midiendo parámetros fisiológicos que permitan evaluar el estado del conductor y, en caso necesario, emitir una alerta para prevenirlo o para avisar a los servicios médicos de apoyo.

En el ambiente médico, al seguimiento de parámetros fisiológicos de los pacientes se le llama monitoreo. El objetivo de esta actividad es identificar situaciones de riesgo para evaluarlas y decidir si se requiere intervenir para restaurar el estado normal del paciente. Los valores más comúnmente medidos son los signos vitales, que indican el estado fisiológico de los tres órganos fundamentales: cerebro, corazón y pulmones. Los cuatro signos vitales principales que examina usualmente el personal médico son: a) temperatura corporal, b) frecuencia cardíaca o pulso, c) presión arterial y d) frecuencia respiratoria (Wikipedia, 2021).

Estos signos vitales pueden ser transmitidos a estaciones distantes de resguardo y análisis de datos, en un esquema conocido como Monitoreo Remoto de Pacientes (MRP), diseñado para atender a pacientes sin acceso a un ambiente clínico convencional, que cambian con frecuencia de ubicación o que están en áreas remotas. En este esquema, datos fisiológicos tales como la presión sanguínea, la temperatura o el pulso son colectados por sensores instalados en dispositivos periféricos que lleva puestos el paciente, y transmitidos a las estaciones de monitoreo. Para los operadores del autotransporte, el problema del constante cambio de ubicación geográfica desaparece con el monitoreo remoto.

Con los datos generados en el monitoreo remoto, se realiza un análisis de tendencia de los parámetros fisiológicos, ya sea por personal médico o usando algoritmos de apoyo a la toma de decisiones, logrando así la detección temprana del deterioro fisiológico y sugerencias de posibles intervenciones que se requieran.

El esquema de MRP, si bien puede resultar muy ágil en la captura, transmisión y tratamiento de la información, requiere asegurar algunas condiciones para garantizar su buen funcionamiento.

El primer aspecto importante a considerar es la aceptación de los operadores a utilizar de manera regular los dispositivos de medición; esto implica que los conductores de los camiones tengan conciencia de la relevancia que tiene cuidar su salud, o que reciban algún curso de inducción para lograr que colaboren apropiadamente.

El segundo aspecto que debe cuidarse es garantizar la confidencialidad de los datos que se manejen en el esquema MRP, ya que es información personal sensible de los operadores, y la confianza de estos en el esquema puede depender mucho de este manejo confidencial. (Wikipedia, 2021b)

5.1 La evaluación de las mediciones

Una vez en funcionamiento el esquema anterior, el acopio, transmisión y resguardo de datos de los signos vitales de un operador, será la base para determinar el estado físico de éste durante sus jornadas laborales.

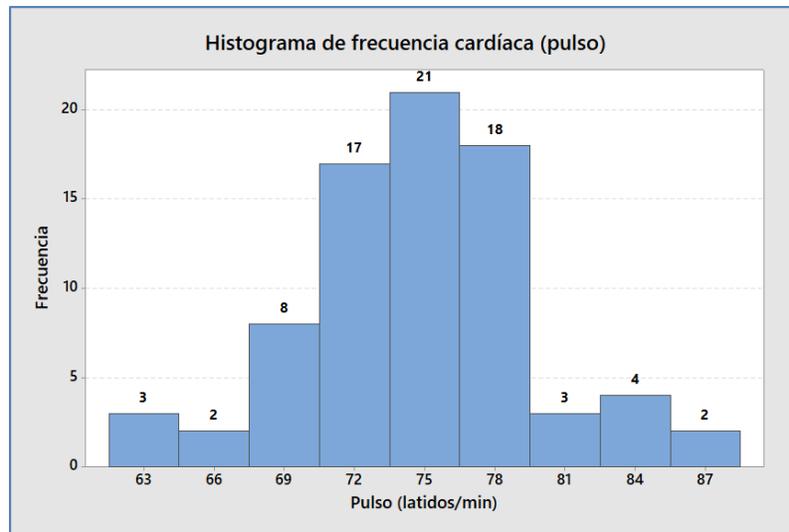
Este trabajo propone tratar los datos generados en el MRP, con el enfoque de Control Estadístico de Procesos (CEP), utilizado con éxito en el control de calidad industrial. En este enfoque se reconoce que todo proceso industrial siempre tiene una variabilidad debida a diversas pequeñas causas, que no siempre son detectables o del todo evitables. Esta variabilidad natural del proceso es llamada “ruido de fondo”, y se considera inocua; un proceso que solo muestra esta variabilidad se considera estable.

Si las condiciones físicas del proceso cambian de manera importante, surge otra clase de variabilidad, en general de mayor magnitud que el ruido de fondo, y que refleja un mal funcionamiento del proceso. Aquello que provoca esta variabilidad es llamada la causa asignable, y es lo que debe corregirse para que el proceso vuelva a la normalidad.

En analogía con el CEP, los signos vitales de un operador, naturalmente, no se mantienen constantes durante el día. Variaciones en la temperatura corporal, la presión sanguínea, o la frecuencia cardíaca, pueden reflejar cambios en la fisiología del operador, procesos biológicos actuando, errores de medición del sensor o variaciones aleatorias por diversas causas no previsibles.

La evaluación de las mediciones de signos vitales tiene como objetivo detectar los cambios relevantes de estos parámetros, distinguiéndolos de las variaciones normales o cambios aleatorios llamados “ruido de fondo”. Con una evaluación adecuada de los signos vitales, se evitan errores en las decisiones de intervención y se minimiza la generación de falsos positivos y falsos negativos.

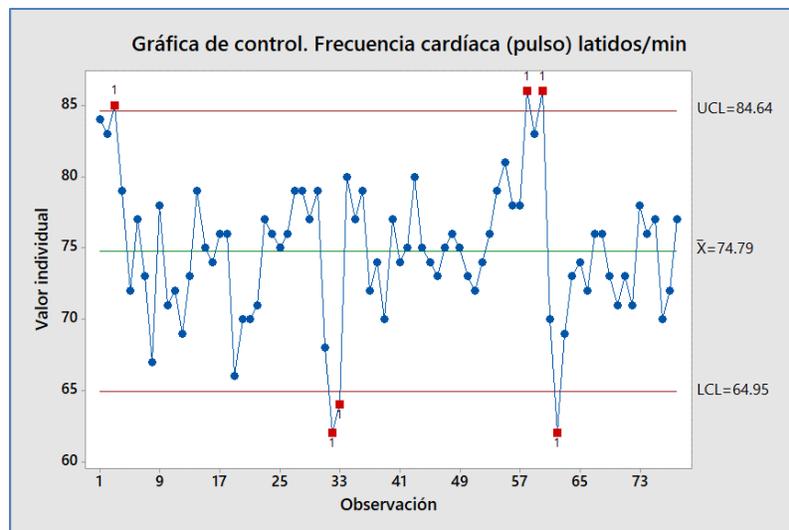
Por ejemplo, la Figura 5.1 muestra un histograma de la frecuencia cardíaca (pulso) de un sujeto observado durante 26 días, con tres mediciones diarias. La forma acampanada del histograma sugiere una distribución Normal para la variable pulso, hipótesis que se puede verificar con una prueba de bondad de ajuste.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.1 Ejemplo de histograma de la frecuencia cardíaca

La técnica básica para la detección de los cambios es la *gráfica de control*, un procedimiento de monitoreo continuo para detectar mediciones que salen del rango considerado como normal. En la Figura 5.2 se ve un ejemplo de gráfica de control para las mediciones diarias de la frecuencia cardíaca (histograma de la Figura 5.1).



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.2 Ejemplo de gráfica de control de la frecuencia cardíaca

La línea central indica la media del proceso: 74.79, y se tienen dos límites para el intervalo que se considera de variación natural. El límite superior (*UCL, Upper Control Limit*) de 84.64 y el límite inferior (*LCL, Lower Control Limit*) con 64.95. Estos

límites suelen ponerse a tres desviaciones estándar de la media, y en la práctica se aceptan como el intervalo de variación natural de la medida.

Cuando el pulso observado aparece dentro de los límites de la gráfica de control, la variable fisiológica está bien; si alguna observación cae fuera de los límites, se tiene una indicación de que la variable salió de control y debe buscarse la causa asignable para corregir la situación.

La Figura 5.2 muestra los puntos fuera del intervalo en rojo con la etiqueta “1”; corresponden a las mediciones: 3, 58 y 60 arriba del límite superior y las mediciones 32, 33 y 62 por debajo del inferior. En este ejemplo, como las medidas son diarias, los puntos anómalos podrían reflejar circunstancias particulares de los días en que se midió; por ejemplo, situaciones de tensión emocional, consumo excesivo de café, de alcohol, o cambios en la medicación del sujeto.

Para tener controlado un signo vital, se requiere que sus mediciones estén dentro de los límites de la gráfica de control; sin embargo, eso no es suficiente. Si el signo está dentro del intervalo, pero muestra patrones no aleatorios de comportamiento, el signo está fuera de control. Variaciones cíclicas del signo vital alrededor de su media o muchos cambios consecutivos en la misma dirección, por ejemplo, cinco o seis mediciones sucesivas en orden creciente o en orden decreciente pueden indicar una situación anormal. Estos patrones no aleatorios deben investigarse para verificar el estado fisiológico del sujeto observado.

Para la gráfica de control, el diseño de muestreo es importante. La experiencia del control industrial sugiere que para detectar cambios relevantes en las variables conviene usar muestras pequeñas recolectadas en intervalos no muy grandes. Esta práctica es particularmente útil cuando el volumen de datos es grande, como es el caso del monitoreo de signos vitales a lo largo de una jornada laboral.

5.2 La gráfica de control

La gráfica de control fue ideada por W. A. Shewhart en 1924 (Montgomery, 2003); se basa en el cálculo de la media de la variable observada, y de los límites superior e inferior del intervalo de variación normal. Este tipo de gráfica se conoce como gráfica de control-X, por la referencia al valor medio de la variable de interés.

Si para la variable de interés X (p. ej. un signo vital) se conocen la media μ y la desviación estándar σ , los límites de variación se colocan a k desviaciones estándar de la media, y las líneas de referencia son:

Línea central, LC : μ

Límite superior LS : $\mu + k\sigma$

Límite inferior LI : $\mu - k\sigma$

Los límites superior e inferior aparecen en la Fig. 5.2 como UCL , \bar{x} , LCL (por sus siglas en inglés); el objetivo del control es que la mayoría de las medidas caiga dentro del intervalo de la gráfica.

El valor de k determina el ancho del intervalo; si éste es grande, se puede perder la detección de desviaciones importantes del proceso; si el intervalo es estrecho, podría haber muchas mediciones fuera del intervalo, que no son relevantes. En la práctica industrial, es común usar $k = 3$, pues se acepta que muchas de las variables observadas tienen comportamiento Normal. En este caso, la probabilidad de que las mediciones caigan en el intervalo de $\mu \pm k\sigma$ es 99.73%, así que las mediciones anómalas fuera del intervalo ocurren con probabilidad 0.27%.

En la descripción de los límites para el rango de control, se supuso que tanto la media como la desviación estándar del proceso observado se conocen, por lo general, como resultado de observaciones frecuentes del proceso en condiciones estables.

Cuando estos parámetros no se conocen, hay que estimarlos con una muestra específica para tal propósito. La tendencia central del proceso se estima promediando las medias muestrales, y una aproximación conservadora de la desviación estándar puede ser el promedio de las desviaciones muestrales.

La Tabla 5.1 tiene mediciones de la presión arterial sistólica del sujeto referido en la Figura 5.1, tomadas con 3 medidas diarias durante 39 días. La tabla contiene la media, la desviación estándar y el rango (máximo – mínimo) estimado en cada día, y al final, se muestran los promedios globales correspondientes.

Tabla 5.1 Ejemplo de mediciones de presión sistólica

	x1	x2	x3	Media	Desv.Est.	Rango		x1	x2	x3	Media	Desv.Est.	Rango
1	119	115	130	121.333	7.767	15	21	114	106	119	113.000	6.557	13
2	129	127	121	125.667	4.163	8	22	117	121	122	120.000	2.646	5
3	119	126	132	125.667	6.506	13	23	139	137	137	137.667	1.155	2
4	119	124	116	119.667	4.041	8	24	124	128	124	125.333	2.309	4
5	114	118	128	120.000	7.211	14	25	127	131	126	128.000	2.646	5
6	140	142	138	140.000	2.000	4	26	122	123	130	125.000	4.359	8
7	128	130	133	130.333	2.517	5	27	132	134	136	134.000	2.000	4
8	123	116	112	117.000	5.568	11	28	142	139	137	139.333	2.517	5
9	134	124	122	126.667	6.429	12	29	119	125	130	124.667	5.508	11
10	122	116	129	122.333	6.506	13	30	119	115	117	117.000	2.000	4
11	122	139	137	132.667	9.292	17	31	121	112	110	114.333	5.859	11
12	124	125	132	127.000	4.359	8	32	132	127	123	127.333	4.509	9
13	139	132	135	135.333	3.512	7	33	130	132	119	127.000	7.000	13
14	122	122	124	122.667	1.155	2	34	134	138	139	137.000	2.646	5
15	131	125	135	130.333	5.033	10	35	142	135	141	139.333	3.786	7
16	141	140	150	143.667	5.508	10	36	150	151	150	150.333	0.577	1
17	129	127	130	128.667	1.528	3	37	138	133	133	134.667	2.887	5
18	114	110	116	113.333	3.055	6	38	148	148	149	148.333	0.577	1
19	110	122	125	119.000	7.937	15	39	131	131	132	131.333	0.577	1
20	121	122	124	122.333	1.528	3				Prom.	128.137	3.993	7.641

Fuente: elaboración propia.

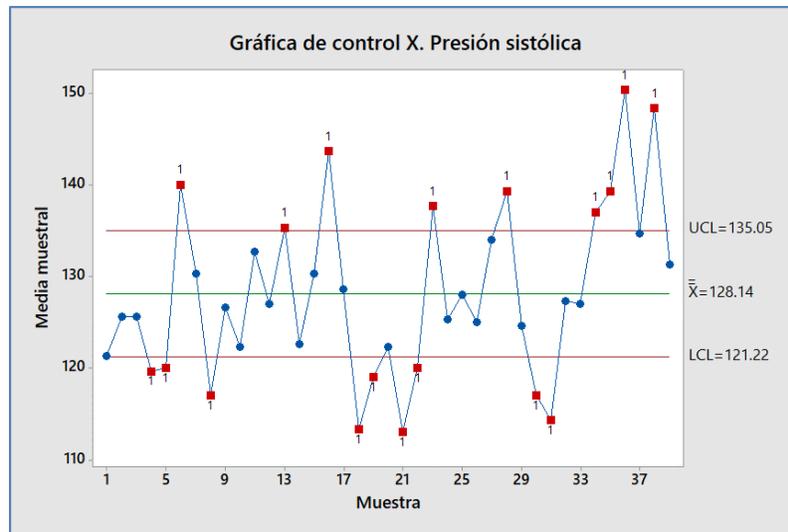
Con estos datos, la línea central de la gráfica de control-X es la media global, $\bar{\bar{X}}$ que es el promedio de las medias muestrales de cada día, $\bar{\bar{X}} = 128.137$, y la primera aproximación a la desviación estándar es el promedio de las desviaciones estándar muestrales de cada día, $\hat{\sigma} = 3.993$.

La desviación estándar muestral se basó en muestras de tamaño $n = 3$, así que los límites superior e inferior de la gráfica de control son:

$$\text{Límite superior LS} : 128.137 + 3 \left(\frac{3.993}{\sqrt{3}} \right) \approx 135.053$$

$$\text{Límite inferior LI} : 128.137 - 3 \left(\frac{3.993}{\sqrt{3}} \right) \approx 121.221$$

La Figura 5.3 es la gráfica de control-X para la presión sistólica. Se ven frecuentes medidas fuera del rango de variación normal, lo que sugiere investigar el estado físico del sujeto para regresarlo al régimen de presiones normales.



Fuente: elaboración propia.

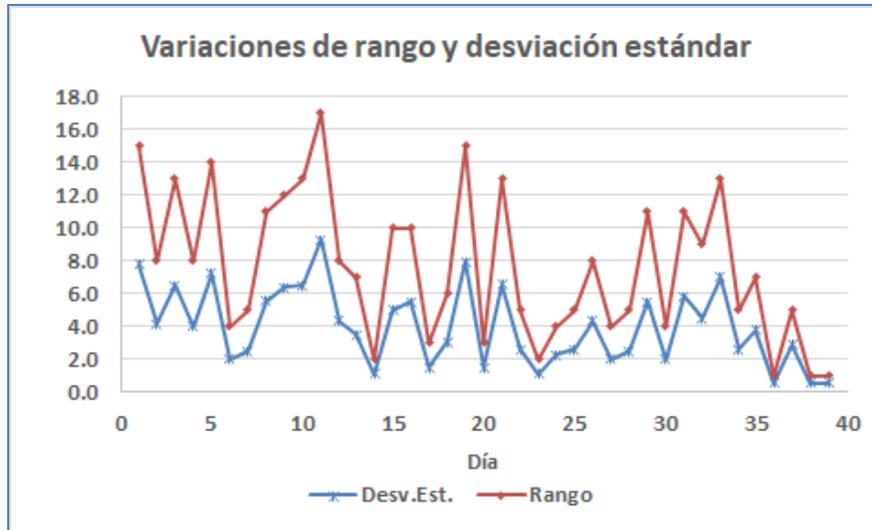
Figura 5.3 Gráfica de control-X de la presión sistólica

El ancho del rango de variación de la gráfica de control-X depende de la desviación estándar σ , que es una medida de dispersión de la variable.

Para estimar σ hay que calcular la desviación muestral S , y aunque actualmente cualquier dispositivo de cálculo tiene las rutinas necesarias, si el personal que elabora las gráficas de control no tiene familiaridad con esto, (p. ej el error común de confundir la desviación poblacional con la muestral) podría subestimarse σ .

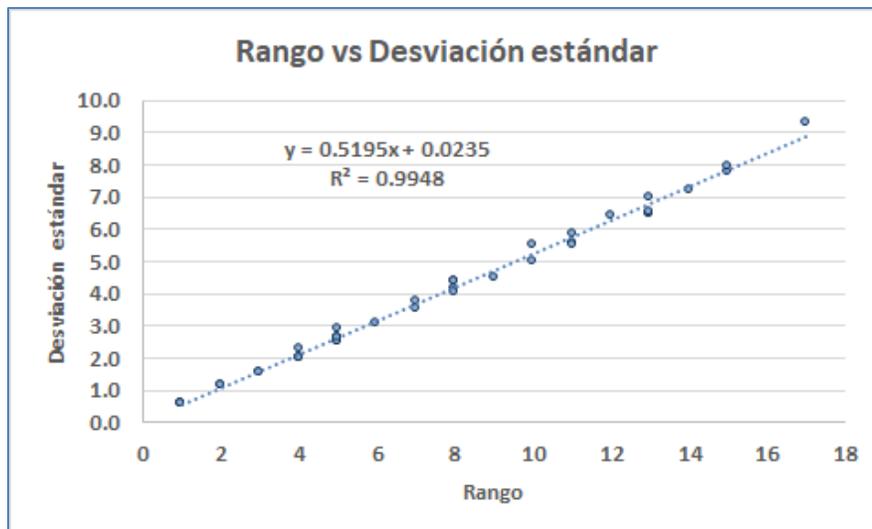
Alternativamente, la variabilidad del proceso puede estimarse también con otra medida de dispersión: el rango de la variable (máximo – mínimo), que es más sencilla de calcular. Si la variable de interés se distribuye Normal, se puede probar que la desviación estándar y el rango muestrales tienen una relación lineal (NIST/SEMATECH, 2021, Secc. 6.3.2.1). La Figura 5.4 muestra los valores del rango y de la desviación estándar de las mediciones en la Tabla 5.1; se puede ver que las dos series de valores siguen la misma tendencia de cambios a lo largo de los 39 días de mediciones.

En la Figura 5.5 se graficó la desviación estándar contra el correspondiente valor del rango, para las mediciones de la Tabla 5.1. Se ve un patrón de puntos de clara tendencia lineal; la ecuación de ajuste en la gráfica indica que la desviación estándar es aproximadamente 0.5195 el valor del rango. Con los promedios de la Tabla 5.1, la desviación estándar estimada del ajuste lineal de la Figura 5.5, resulta: $\hat{\sigma} \approx 7.641 \times 0.5195 = 3.9695$, muy cercana al promedio de las desviaciones: 3.993.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.4 Variaciones de la desv. estándar y el rango



Fuente: elaboración propia

Figura 5.5 Relación lineal rango – desv. estándar

Si se tienen k muestras de tamaño n de la variable, la relación lineal entre el rango y la desviación estándar se puede expresar como (NIST/SEMATECH, 2021):

$$\bar{R} = d_2\sigma$$

donde \bar{R} es el promedio de los rangos de las k muestras, y d_2 es una constante que depende del tamaño de muestra, que se encuentra en tablas específicas; la Tabla 5.2 contiene valores de d_2 junto con otras constantes usadas en gráficas de control.

Tabla 5.2 Factores para límites de gráficas de control (con base en Montgomery, 2003)

n	Gráfica \bar{X}		Gráfica R		Gráfica S	n	Gráfica \bar{X}		Gráfica R		Gráfica S
	A2	d2	D3	D4	c4		A2	d2	D3	D4	c4
2	1.88	1.128	0	3.267	0.7979	14	0.235	3.407	0.329	1.671	0.981
3	1.023	1.693	0	2.575	0.8862	15	0.223	3.472	0.348	1.652	0.9823
4	0.729	2.059	0	2.282	0.9213	16	0.212	3.532	0.364	1.636	0.9835
5	0.577	2.326	0	2.115	0.94	17	0.203	3.588	0.379	1.621	0.9845
6	0.483	2.534	0	2.004	0.9515	18	0.194	3.64	0.392	1.608	0.9854
7	0.419	2.704	0.076	1.924	0.9594	19	0.187	3.689	0.404	1.596	0.9862
8	0.373	2.847	0.136	1.864	0.965	20	0.18	3.735	0.414	1.586	0.9869
9	0.337	2.97	0.184	1.816	0.9693	21	0.173	3.778	0.425	1.575	0.9876
10	0.308	3.078	0.223	1.777	0.9727	22	0.167	3.819	0.434	1.566	0.9882
11	0.285	3.173	0.256	1.744	0.9754	23	0.162	3.858	0.443	1.557	0.9887
12	0.266	3.258	0.284	1.716	0.9776	24	0.157	3.895	0.452	1.548	0.9892
13	0.249	3.336	0.308	1.692	0.9794	25	0.153	3.931	0.459	1.541	0.9896

Fuente: elaboración propia.

Por tanto, el estimador de la desviación estándar resulta: $\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$, y los límites de la gráfica de control-X son:

Línea central, LC : \bar{X}

Límite superior LS : $\bar{X} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$

Límite inferior LI : $\bar{X} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$

Recalculando los límites de la Figura 5.3 con esta aproximación, resulta lo siguiente. De las Tablas 5.1 y 5.2, $\bar{R} = 7.641$, y para $n = 3$, $d_2 = 1.693$. Los límites son:

$$\text{Límite superior LS : } 128.137 + 3 \left(\frac{7.641}{1.693\sqrt{3}} \right) \approx 135.954$$

$$\text{Límite inferior LI : } 128.137 - 3 \left(\frac{7.641}{1.693\sqrt{3}} \right) \approx 120.320$$

Estos límites son bastante cercanos a los obtenidos con la primera estimación de σ : 135.053 y 121.221, por lo que es confiable para construir la gráfica.

5.3 El control de la variación

La variabilidad del proceso que está en observación también puede analizarse con gráficas de control. Puesto que esta variabilidad determina el ancho del intervalo en la gráfica de control-X, es de relevancia saber si el comportamiento de la variabilidad

es el esperado para la situación bajo estudio. Para el control de la variabilidad, se construyen gráficas para el rango y para la desviación estándar: la gráfica de control-R, y la gráfica de control-S.

Gráfica de control-R

Para el rango R, se considera la variable aleatoria $W = \frac{R}{\sigma}$, llamada *rango relativo* (Montgomery, 2003), cuya media depende del tamaño muestral n y es justamente la constante d_2 que aparece en la Tabla 5.2.

Despejando R resulta: $R = \sigma W$. Las correspondientes estimaciones de media y desviación estándar de R son como sigue, donde \bar{R} es el promedio de los promedios muestrales de los rangos, y d_3 es la desviación estándar de W .

$$\mu_R = E(R) \approx \bar{R}$$

$$\text{Desv. est.} = \sigma_R \approx \hat{\sigma} d_3 = \frac{\bar{R}}{d_2} d_3$$

De modo que las líneas de referencia para la gráfica de control-R resultan:

$$\text{Línea central, LC : } \bar{R}$$

$$\text{Límite superior LS : } \bar{R} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2} d_3 = \bar{R} \left(1 + \frac{3d_3}{d_2} \right)$$

$$\text{Límite inferior LI : } \bar{R} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2} d_3 = \bar{R} \left(1 - \frac{3d_3}{d_2} \right)$$

En la práctica no se usa directamente d_3 , sino que se definen las constantes:

$$D_3 = 1 - \frac{3d_3}{d_2}; \quad D_4 = 1 + \frac{3d_3}{d_2};$$

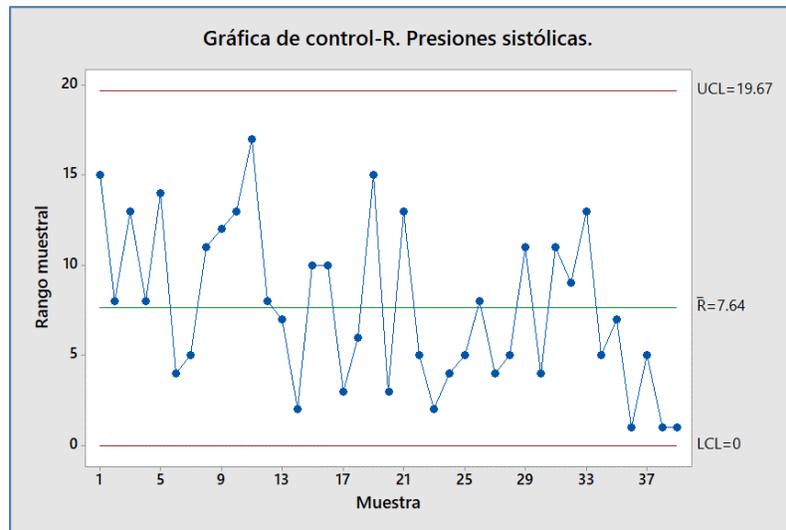
Las cuales están ya calculadas en tablas específicas; en la Tabla 5.2 aparecen en las columnas para las gráficas-R. Así, las líneas de referencia para la gráfica de control del rango son:

$$\text{Línea central, LC : } \bar{R}$$

$$\text{Límite superior LS : } D_4 \bar{R}$$

$$\text{Límite inferior LI : } D_3 \bar{R}$$

La Figura 5.6 muestra la gráfica de control-R para los datos de presiones sistólicas del ejemplo anterior.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.6 Gráfica de control-R de la presión sistólica

En esta gráfica se ve que todos los puntos están dentro del rango considerado como variación natural del proceso, lo que sugiere una variabilidad normal para las presiones sistólicas observadas.

Gráfica de control-S

La gráfica de control-S permite observar la variabilidad de la desviación estándar de las muestras que generan la gráfica de control-X.

Cuando la variable observada está normalmente distribuida, la desviación estándar muestral s es una estimación del valor $c_4\sigma$ donde c_4 es una constante que depende n , el tamaño de la muestra (NIST/SEMATECH, 2021). Esta constante se encuentra en tablas específicas, y particularmente aparece en la Tabla 5.2 en la última columna. Por tanto, el valor medio de las desviaciones estándar de las muestras de observaciones es:

$$\bar{s} = c_4\sigma$$

Para la desviación estándar de la propia s se puede probar que el resultado es (Montgomery, 2003):

$$\sigma\sqrt{1 - c_4^2}$$

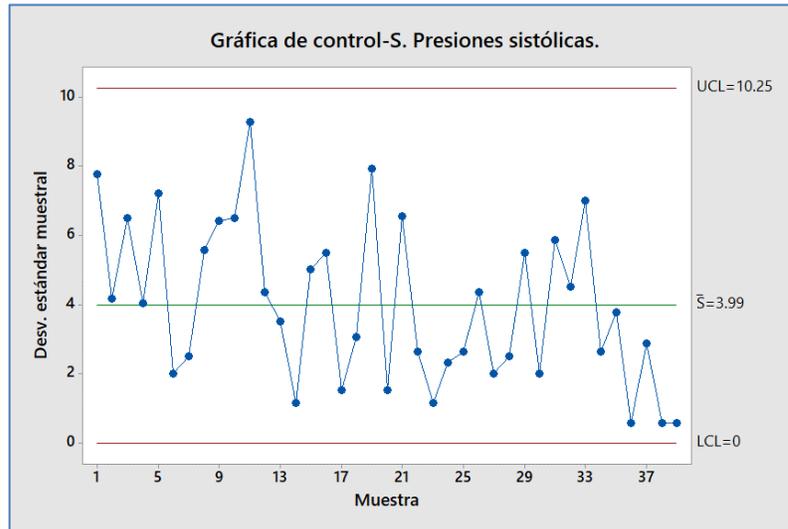
De esta forma, los límites para la gráfica de control-S son como sigue, donde \bar{s} es el promedio de los promedios de las desviaciones estándar de las muestras.

Línea central, LC : \bar{s}

$$\text{Límite superior LS} : \bar{s} + 3 \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

$$\text{Límite inferior LI} : \bar{s} - 3 \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

La Figura 5.7 muestra la gráfica de control-S del ejemplo de las presiones sistólicas



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.7 Gráfica de control-S de la presión sistólica

Esta gráfica de control-S tiene todos sus puntos dentro de los límites y su patrón es muy similar al obtenido con la gráfica de control-R, mostrando consistencia.

En las gráficas de control-R y S, la operación aritmética para el límite inferior podría llegar a dar un número negativo; en ese caso, la práctica común es eliminar ese valor negativo y reemplazarlo por cero.

Mediciones individuales

En las gráficas de control previas, las mediciones de la variable se tomaron en muestras de tamaño n , por lo general, colectados a intervalos regulares. Esta práctica busca formar lo que en control estadístico se llama *subgrupos racionales*, es decir, grupos de datos que permitan hasta donde sea posible incluir hasta donde sea posible, solamente la variabilidad natural del proceso. En la práctica, los tamaños de muestra van de tres a cinco mediciones, pero pueden llegar hasta tamaño nueve.

En procesos que se monitor en de manera continua, el tamaño de muestra es $n = 1$ y los límites de la gráfica el control se basan en las variaciones de mediciones

sucesivas tomadas en parejas. La gráfica resultante se llama Gráfica de Control Individual.

En esta gráfica, la dispersión de los valores de la variable X se mide con el rango móvil de dos observaciones sucesivas, que se define como:

$$\text{Rango móvil, } RM = |X_k - X_{k-1}|$$

Una estimación para la desviación estándar correspondiente, es:

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{RM}}{d_2} = \frac{\overline{RM}}{1.128}$$

Donde \overline{RM} es el promedio de los rangos móviles de la muestra, y 1.128 es el valor de d_2 para una muestra de tamaño dos (Montgomery, 2003).

Los límites de referencia para la gráfica de control individual resultan como sigue.

Para la tendencia central de la variable medida \bar{X} las líneas de referencia son:

$$\text{Línea central, LC : } \bar{X}$$

$$\text{Límite superior LS : } \bar{X} + 3 \frac{\overline{RM}}{1.128}$$

$$\text{Límite inferior LI : } \bar{X} - 3 \frac{\overline{RM}}{1.128}$$

Para la dispersión del rango móvil RM , las referencias son (Montgomery, 2003):

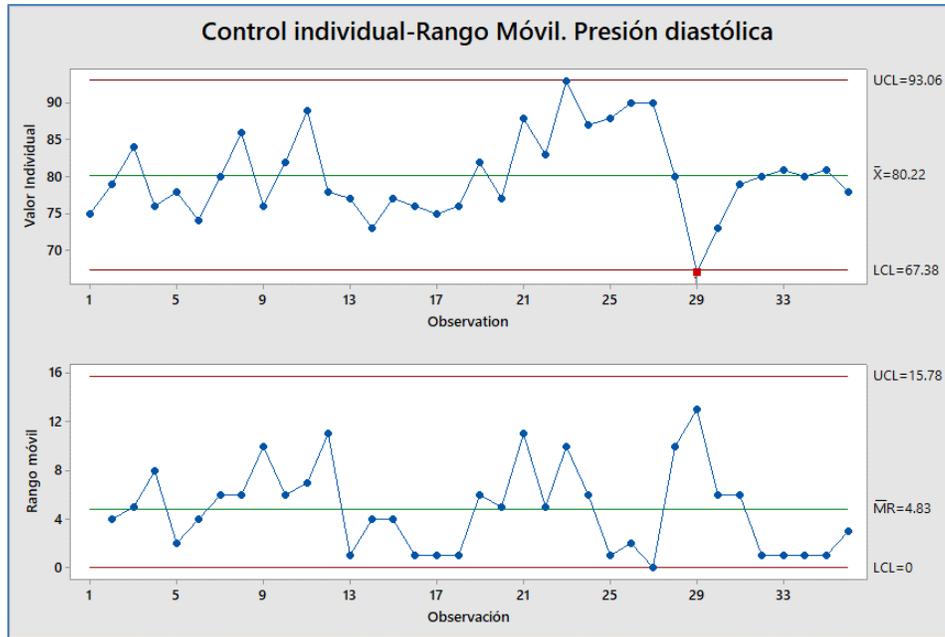
$$\text{Línea central, LC : } \overline{RM}$$

$$\text{Límite superior LS : } D_4 \overline{RM} = 3.267 \overline{RM}$$

$$\text{Límite inferior LI : } D_3 \overline{RM} = 0$$

La Figura 5.8 muestra las gráficas de control individual de 36 mediciones de la presión diastólica del sujeto del ejemplo de presiones sistólicas, usando el criterio del rango móvil.

Puede verse en esta gráfica que la presión diastólica está casi por completo bajo control, salvo la medición 29, donde cae debajo del límite inferior. La variabilidad del rango móvil, por otra parte, indica que está bajo control, y que no hay cambios no esperados en el rango móvil. La medición 29, podría considerarse para ser investigada, ya sea que hubiera un error de medición o alguna circunstancia especial que haya afectado al sujeto en ese día.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.8 Gráfica de control individual de la presión diastólica

5.4 Patrones de comportamiento en la gráfica de control

Cuando un signo vital está controlado, sus mediciones caen dentro de los límites de la gráfica de control; y pareciera que no hay nada más que observar; sin embargo, lo anterior no significa que los cambios en la variable observada se deban a causas aleatorias solamente.

Si el signo está dentro del intervalo, pero muestra patrones no aleatorios de comportamiento, el signo está fuera de control.

Variaciones cíclicas del signo vital alrededor de su media o muchos cambios consecutivos en la misma dirección, por ejemplo, cinco o seis mediciones sucesivas en orden creciente o en orden decreciente pueden indicar una situación anormal. Estas secuencias de observaciones cambiando en el mismo sentido se llaman *corridas*. Estos patrones no aleatorios deben investigarse para verificar el estado fisiológico del sujeto observado.

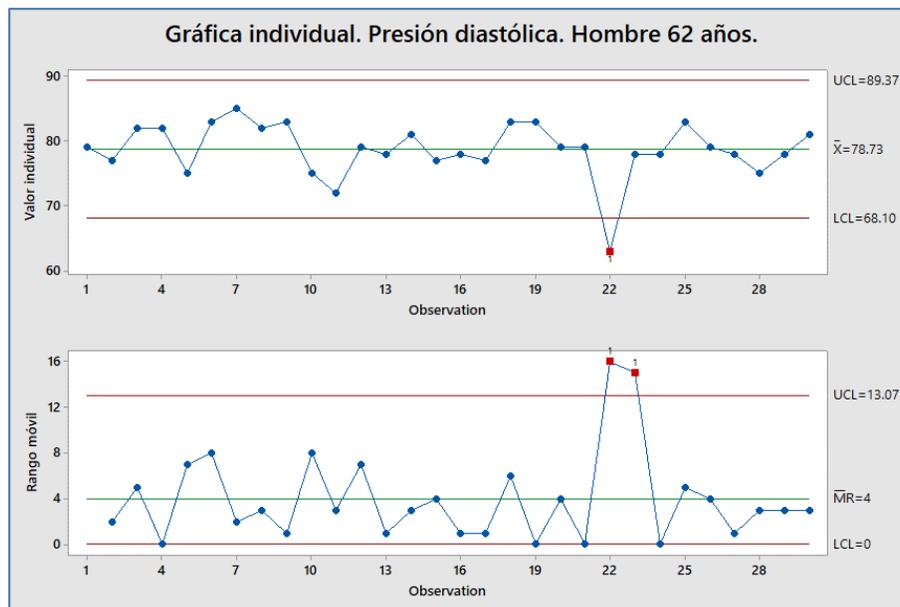
Por ejemplo, en la Figura 5.8, en la medición individual 29 (marcada en rojo) se inicia una corrida de cinco puntos sucesivos todos aumentando de valor. Para decidir si el comportamiento de las corridas está afectado por alguna causa no aleatoria, en el control estadístico se usan las reglas propuestas por la empresa norteamericana Western Electric para el control de sus procesos.

El resumen de estas reglas es como sigue.

El proceso se considera fuera de control, con respecto a la medida de dispersión sigma (según el tipo de gráfica de control) si:

- Se tiene uno o más puntos fuera del rango de 3-sigmas.
- Se tienen 2 de 3 puntos consecutivos que exceden el límite de 2-sigmas.
- Se tienen 4 de 5 puntos consecutivos que exceden el límite de 1-sigma.
- Se tienen 8 puntos consecutivos del mismo lado de la línea central.

La Figura 5.9 se muestra una gráfica de control individual de la presión diastólica de un sujeto de 62 años, donde se ven un par de puntos fuera de control.



Fuente: elaboración propia.

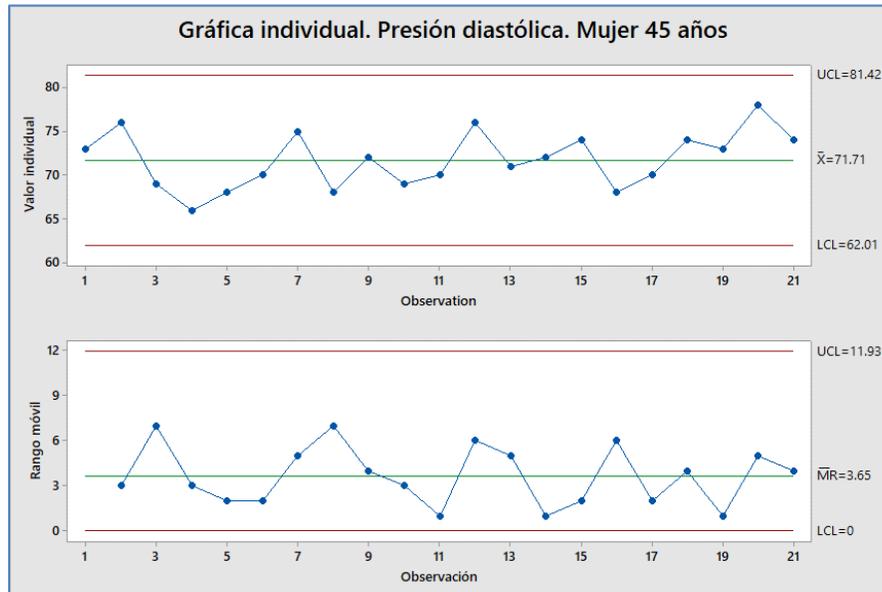
Figura 5.9 Control individual. Presión diastólica. Hombre (62)

Las gráficas de control en este capítulo se elaboraron con Minitab; el reporte generado para la Figura 5.9 indica puntos más allá de las 3-sigmas tanto en el valor individual como en el rango:

Test Results for MR Chart of Dia

TEST 1. One point more than 3.00 standard deviations from center line.
Test Failed at points: 22, 23

En la Figura 5.10, se muestra la gráfica de control individual de la presión diastólica para una mujer de 45 años, donde se ven todos los puntos dentro de la región que se considera de variación normal, y no se detecta ningún patrón no-aleatorio.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.10 Control individual. Presión diastólica. Mujer (45)

De lo ya expuesto sobre gráficas de control, la suposición más fuerte es que las variables observadas se comporten como Normales.

Por ejemplo, en los datos de las presiones arteriales, el carácter Normal suele aparecer claramente. La Figura 5.11 muestra el histograma y la bondad de ajuste a una distribución Normal para la presión diastólica de una mujer de 35 años (usando la app ABAL en línea del IMT).

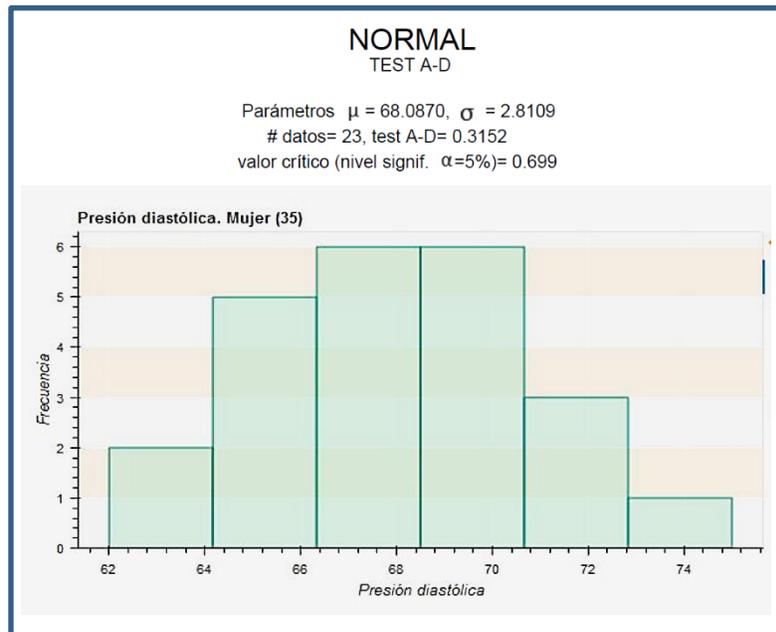
El valor-p de la prueba, 0.699 implica la aceptación de Normalidad para esta variable, con media y desviación estándar: $\mu = 68.087, \sigma = 2.8109$.

En contraste, la Figura 5.12 muestra el ajuste para los datos de saturación de oxígeno de un hombre de 31 años, donde claramente se ve que el comportamiento de esta otra variable no es Normal, con un valor-p = 0.0049.

Mohammed et al (2008) hacen notar que, en el seguimiento de gráficas de control, donde la desviación estándar (sigma) se estima bajo el supuesto de Normalidad, la carta de control individual basada en el rango móvil es un procedimiento robusto que no cambia mucho sus estimaciones si la variable de interés se aparta del comportamiento Normal.

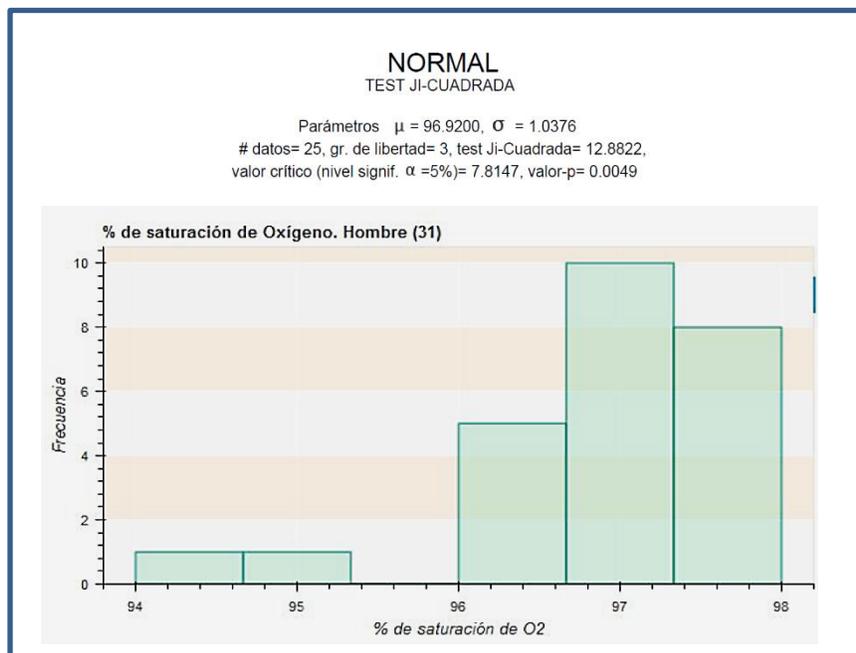
Aún más, si la variable de interés se confirma como no Normal, o cuando se detecta una autocorrelación importante en la serie de los rangos móviles, deben buscarse

factores de corrección para ajustar el ancho del intervalo de variación para la variable observada.



Fuente: elaboración propia

Figura 5.11 Bondad de ajuste Normal. Presión diastólica. Mujer (35)



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.12 Bondad de ajuste Normal. Saturación O2. Hombre (31)

El propósito que se persigue al ajustar el ancho del intervalo de variación para los signos vitales observados, tiene que ver con el balance de los costos derivados de la búsqueda de una causa especial de la variación cuando no existe, contra la posibilidad de ignorar una señal de alarma auténtica cuando ésta se presenta; es el balance entre los falsos negativos y de los falsos positivos.

Aun cuando no es posible reducir a cero la generación de falsos positivos o falsos negativos, hay una amplia evidencia en el ambiente del cuidado de la salud de que las gráficas de control ofrecen beneficios que valen la pena el esfuerzo (Mohammed et al, 2008).

En una amplia búsqueda bibliográfica, en la que se incluyeron las bases de datos de MEDLINE y CINAHI entre otras, Tennant et al (2007) encontraron que la técnica de las gráficas de control ha sido aplicada para llevarle seguimiento a pacientes con hipertensión, asma, función renal post-trasplante y diabetes.

En su trabajo de investigación Tennant et al concluyen que la técnica de gráficas de control aplicada al área de monitoreo de salud es prometedora, aunque hace falta más investigación en el seguimiento de los pacientes individuales y en el rigor del tratamiento de los datos que se procesan.

Para los fines del monitoreo de los operadores del autotransporte, esta técnica de gráficas de control conforma un primer paso hacia el seguimiento regular del estado físico de los choferes. La generación de puntos de alarma y su tratamiento adecuado será el antecedente para mantener controlados los parámetros fisiológicos para estos operadores en niveles saludables.

6. Conclusiones

El avance tecnológico ha revolucionado muchos aspectos de nuestra vida, y uno de ellos es la manera en la que se transporta la carga. Los efectos de dichos desarrollos podrán ser ampliamente discutidos, ya que, en ocasiones la tecnología nos permite superar límites que pueden generar nuevos problemas, un ejemplo de estos es el avance tecnológico que ha permitido transportar cada vez cargas más pesadas en vehículos capaces de desplazarse también a mayores velocidades, como resultado de esto, los accidentes que se producen al combinar estas variables tienen consecuencias catastróficas.

Pero si bien la tecnología nos presenta este tipo de escenarios, también la tecnología puede ser nuestro aliado para cuidar la seguridad en carreteras. Un ejemplo de esto es la posibilidad de limitar la velocidad de un vehículo, dar seguimiento remoto al estado general del motor, temperatura de la carga y otras cuestiones, sin embargo, a final de cuentas, el factor más importante en la prevención de accidentes o eventos disruptivos, se encuentra detrás del volante. Un alto porcentaje de accidentes están relacionados con el factor humano y específicamente con el exceso de velocidad.

Existen diversas variables que pueden influir en la ocurrencia de accidentes por parte del conductor de la unidad como: estado de salud, nivel de cansancio y estrés.

Adicionalmente, en caso de ser víctima de un delito, en muchas ocasiones no se detecta a tiempo y se identifica demasiado tarde, ya que el monitoreo se basa principalmente en el vehículo, el cual reporta su ubicación de manera periódica, en ocasiones cada 15 o 30 minutos, este tiempo no es suficiente para detectar que ocurre un problema y prestar auxilio oportuno al conductor.

La implementación de tecnologías *usables* (*wearables*) puede ser la respuesta para lograr la identificación oportuna de eventos que pueden implicar un riesgo tanto para el conductor, como para la población u otros conductores que circulan en la zona, ya que, un monitoreo centrado en la persona acompañado de un eficiente sistema de identificación de datos atípicos y alertas oportunas, permitiría la detección temprana de situaciones que pudieran desencadenar un accidente.

La identificación temprana, con la puesta en marcha de un sistema adecuado de protocolos de respuesta, sería una valiosa herramienta para la reducción de riesgos en carretera.

Bibliografía

Anaya, L., (2020). *Consumo de drogas, un problema latente en el transporte*. Recuperado el día 12 de abril del 2021 en: <https://www.jornada.com.mx/ultimas/tiempo-de-industria/2020/10/05/consumo-de-drogas-un-problema-latente-en-el-transporte-6131.html>.

Anderson, J. E., Govada, M., Steffen, T. K., Thorne, C. P., Varvarigou, V., Kales, S. N., & Burks, S. V. (2012). *Obesity is associated with the future risk of heavy truck crashes among newly recruited commercial drivers*. *Accident; analysis and prevention*, 49, 378-384.

Apostolopoulos, Y., Sönmez, S., Shattell, M. M., & Belzer, M, (2010). *Worksite-induced morbidities among truck drivers in the United States*. *AAOHN journal: official journal of the American Association of Occupational Health Nurses*, 58(7), 285-296

Barrera-Animas, A. Y. (11 de septiembre de 2017). *Towards one-class classification approach for personal risk detection based on behavioural and physiological patterns through wearable measurements*. Tesis. Edo. de México, México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Beetrack (2021) *Últimas tendencias tecnológicas en logística*, Beetrack. Recuperado el día 20 de agosto del 2021 en: <https://www.beetrack.com/hubfs/BEE/BEE%20-%20Ebooks/BEE%20-%20Ebook%20%C3%9Altimas%20tendencias%20tecnol%C3%B3gicas%20en%20log%C3%ADstica/BEE%20-%20%C3%9Altimas%20tendencias%20tecnol%C3%B3gicas%20en%20log%C3%ADstica%20-%20eBook.pdf>

Berrones, L., (2017). *Choferes del autotransporte de carga en México: investigaciones sobre condiciones laborales y la cadena de suministro*. Recuperado el día 12 de abril del 2021 en: <https://www.redalyc.org/pdf/3330/333053372012.pdf>

Bigert, C., Klerdal, K., Hammar, N., Hallqvist, J., & Gustavsson, P, (2004). *Time trends in the incidence of myocardial infarction among professional drivers in Stockholm 1977-96*. *Occupational and environmental medicine*, 61(12), 987-991

CNSP. (2020). *Incidencia Delictiva*. 15 de septiembre 2020, de Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública Sitio web: <https://www.gob.mx/sesnsp/acciones-y-programas/incidencia-delictiva-del-fuero-comun-nueva-metodologia>.

Coutinho, E., Neto, M. M., Oliveira, M. R., Moreira, L., & de Souza, J. N. (enero de 2018). Asp: An iot approach to help sedentary people. In 6th Internacional Workshop on ADVANCEs in ICT Infrastructures and Services (ADVANCE). Santiago de Chile, Chile.

Cuevas Colunga, A.C., Cadengo Ramírez M. y Mendoza Díaz. A. (2019). *Anuario estadístico de accidentes en carreteras federales (2019)*. Documento Técnico No. 80. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, México.

DGPMPT. (2021). Dir. Gral de Protección y Medicina Preventiva en el Transporte *Medicina Preventiva en Cifras*. En: <https://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/medicina-preventiva/medicina-preventiva-en-cifras/>

Documentos transporte, (2016). *Las enfermedades más comunes de los conductores de camión*. Recuperado el día 7 de abril del 2021 en: https://documentostransporte.com/smartblog/23_LAS-ENFERMEDADES--M%C3%81S-COMUNES-DE-LOS-CONDUCTO.html

Fernández, P., (2018). *Estos son los efectos de las drogas en los conductores*. Recuperado el día 14 de abril del 2021 en: https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-estos-efectos-drogas-conductores-201805171244_noticia.html?ref=https:%2F%2Fwww.google.com%2F

Filippoupolitis, A., Oliff, W., Takand , B., & Loukas, G. (2017). Location-Enhanced Activity Recognition in Indoor Environments Using Off the Shelf Smart Watch Technology and BLE Beacons. *Sensors*.

Fuller, D., Colwell, E., Low, J., Orychock, K., Tobin, M. A., Simango, B., Taylor, N. G. (2020). Reliability and Validity of Commercially Available Wearable Devices for Measuring Steps, Energy Expenditure, and Heart Rate: Systematic Review. *JMIR Mhealth Uhealth*.

García Sánchez, G. M. (2016). Monitorización de pacientes con pulseras inteligentes. Trabajo fin de grado. Alicante, España: Universidad de Alicante.

González, D. (2020). De posible paro respiratorio muere conductor de tráiler. 25 de noviembre 2020, de Noticias de Chiapas Sitio web: <https://www.noticiasdechiapas.com.mx/noticia.php?item=11987>.

Guanche et al, (2006). *Estado de salud de conductores profesionales que circulan por la Vía Blanca*. Recuperado el día 8 de abril del 2021 en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662006000200006

Herrera-Alcántara, O., Barrera-Animas, A. Y., González-Mendoza, M., & Castro-Espinoza, F. (2019). Monitoring Student Activities with Smartwatches: On the Academic Performance Enhancement. *Sensors*.

HPE. (2020). Infraestructura de IoT y soluciones de seguridad. 25 de noviembre del 2020, de Hewlett Packard Enterprise, Información Sitio web: <https://www.hpe.com/mx/es/solutions/internet-of-things.html>.

Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). (2016). *Memorias Estadísticas 2011-2015: Salud en el Trabajo*. Recuperado el 8 de abril del 2021 en: <http://www.imss.gob.mx/conoce-al-imss/memoria-esta-distica-2011>

Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). (2020) Capítulo VII. "Salud en el trabajo". Disponible en: <http://www.imss.gob.mx/conoce-al-imss/memoria-estadistica-2020>

Maki, Y., Monno, Y., Yoshizaki, K., Tanaka, M. y Okutomi, M. (2019, julio). *Estimación del intervalo entre latidos a partir de videos faciales basada en la confiabilidad de las señales de BVP*. En 2019, 41a Conferencia Internacional Anual de la Sociedad de Ingeniería en Medicina y Biología (EMBC) del IEEE (págs.6525-6528). IEEE.

Martínez, G. (2020). *Balean a trailero para asaltarlo y muere en el hospital*. 25 de noviembre 2020, de 385 Grados Sitio web: <https://www.385grados.com.mx/>

Medesbla. (2017). *Un chaleco monitorizará los signos vitales de los astronautas*. Obtenido de Medesbla: <https://noticias.medsbla.com/noticias-medicas/medicina-aeroespacial/un-chaleco-monitorizara-los-signos-vitales-de-los-astronautas/>.

Padilla, J. (2001). Estudio comparativo de la fisiología del ejercicio en grupos de deportistas mexicanas de diferentes especialidades. Recuperado el 11 de mayo de 2021 en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/iner/in-2001/in013b.pdf>

MESUT, Ç. (2015). Wearable technologies and its future applications. International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication, 45-50.

Microsoft Corporation. (11 de Agosto de 2021). Support Microsoft. Obtenido de End of support for the Microsoft Health Dashboard applications and services: FAQ: <https://support.microsoft.com/en-us/topic/end-of-support-for-the-microsoft-health-dashboard-applications-and-services-faq-ae78b810-5acb-6f00-bf5f-e0935aca84af>.

Milenio (2019) Trailero muere de un infarto en carretera. Diario Milenio. Recuperado de 22 de noviembre de 2020 de <https://www.milenio.com/policia/chofer-trailer-muere-infarto-carretera-tamaulipas>.

MIT Technology review (2011). La última estadística deportiva: las constantes vitales de los jugadores, obtenido de Technology: <http://www.technologyreview.es/s/2240/la-ultima-estadistica-deportiva-las-constantes-vitales-de-los-jugadores>.

Colegio Médico de México (2018). Monitoreo de salud para astronautas. Obtenido el día 21 de julio del 2021 en:

<https://www.colegiomedicodemexico.org/portfolio/monitoreo-de-salud-para-astronautas/#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20del%20monitoreo%20de,el%20pulso%20y%20la%20oxigenaci%C3%B3n>.

Montgomery, D. C. & Runger, G. C. (2003). *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Third edition. John Wiley & Sons. USA.

Moore, C., et al, (2009). 2007 National Roadside Survey of Alcohol and Drug Use by Drivers. Recuperado el 15 de Abril de 2021 en: <http://www.cicad.oas.org/cicadocs/Document.aspx?Id=998>

NIST/SEMATECH. (2021). *e-Handbook of Statistical Methods*. En línea. Disponible en: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/index.htm>.

NORDIC SEMICONDUCTOR. (26 de Mayo de 2021). Get Connected Blog. Obtenido de The Difference Between Classic Bluetooth and Bluetooth Low Energy: <https://blog.nordicsemi.com/getconnected/the-difference-between-classic-bluetooth-and-bluetooth-low-energy>.

Noticieros Televisa (2013). Chofer de pipa iba drogado: Procuraduría de Michoacán. 24 de noviembre 2020, de Noticieros Televisa Sitio web: <http://noticierostelevisa.esmas.com/estados/609356/chofer-pipa-iba-drogado-procuraduria-michoacan/>.

Peñate Garrido, M. (2017). Aplicación móvil y web para la monitorización de datos recogidos por la pulsera inteligente Xiaomi MiBand 2 usando BLE y la plataforma Fi-ware. Trabajo fin de grado. Sevilla, España.

Puente, E., y Pillon, S., (2019). Estrategias de prevención y vigilancia sobre el uso de sustancias ilícitas y su impacto en los costos de accidentes en conductores de carga pesada en México. Recuperado el día 15 de abril del 2021 en: <https://www.scielo.br/pdf/rlae/v19nspe/22.pdf>

Reforma (2020). Mutilan a choferes de camiones para robar cargas. Recuperado de 12 de octubre de 2020 de <https://www.am.com.mx/noticias/Mutilan-a-choferes-de-camiones-para-robar-cargas-20200204-0008.html>.

SensiGuard 2020 Reporte anual de robo de carga en México 2019, SensiGuard Supply Chain intelligence Center

Shimokawa, A., Pfeiffer, C., & Gobbetti, D. (2021). Gadgetbridge. Obtenido de <https://gadgetbridge.org/>.

Tennant, R., Mohammed, M.A; Coleman, J. and Martin, U. (2007). "Monitoring patients using control charts: a systematic review". *International Journal for Quality in Health Care*; Volume 19, Number 4: pp. 187–194.

Transporte.MX. (2017). EL PORTAL DEL TRANSPORTE MEXICANO. “Qué son las cachimbas y qué sucede en ellas?”.06/06/2017. En: <https://www.transporte.mx/que-son-las-cachimbas-y-que-sucedee-en-ellas/>.

Vélez, P. (2020). Diseño de un dispositivo wearable para el monitoreo de la oxigenación y ritmo cardiaco. Memorias Del Congreso Nacional De Ingeniería Biomédica, (págs. 485-492).

Xie, J., Wen, D., Liang, L., Jia, Y., Gao, L., & Lei, J. (2018). Evaluating the Validity of Current Mainstream Wearable Devices in Fitness Tracking Under Various Physical Activities: Comparative Study. JMIR MHEALTH AND UHEALTH.

Wikipedia (2021). *Signos vitales*. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Signos_vitales

Wikipedia. (2021b). *Remote Patient Monitoring*. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Remote_patient_monitoring.

Anexo

Encuesta departamento de medicina preventiva

 <p>Instituto Mexicano del Transporte</p>	<p>Coordinación de Transporte Integrado y Logística</p> <p>TI-04/21 Estudio exploratorio de tecnologías de seguimiento y alerta temprana en carreteras</p>
--	--

Encuesta Departamento de Medicina Preventiva SCT | Querétaro

- Objetivos del estudio:**
- 1.1. Revisar y analizar las soluciones tecnológicas que existen en el mercado que pudieran ser útiles para identificar de manera oportuna situaciones de riesgo en el transporte de carga por carretera con enfoque en el operador de la unidad y que permita una gestión de riesgos de manera preventiva.
 - 1.2. En caso de no encontrar soluciones tecnológicas adecuadas, establecer un área de oportunidad de futuras aplicaciones o sistemas a desarrollar.

Preguntas:

1.- Desde la perspectiva de estado de salud, ¿qué requerimientos debe cumplir una persona para considerarse apta para operar vehículos de carga?

2.- ¿Cuáles son los principales problemas de salud que presentan los operadores de vehículos de carga?

3.- ¿Existen requerimientos particulares para los operadores de vehículos que transportan mercancía peligrosa?

 <p>Instituto Mexicano del Transporte</p>	<p>Coordinación de Transporte Integrado y Logística</p> <p>TI-04/21 Estudio exploratorio de tecnologías de seguimiento y alerta temprana en carreteras</p>
--	--

4.- ¿Actualmente hay alguna forma de dar seguimiento a la salud de los conductores, para asegurarse de que estén en condiciones de manejar?

4.1 ¿Si pudiera darse un seguimiento qué tipo de mediciones sería deseable tener?

5.- ¿Se tienen identificados parámetros o umbrales de permitan detectar señales de alerta en signos vitales de un conductor? ____

Ritmo cardíaco _____

Oxigenación _____

Nivel de glucosa _____

Niveles de bilirrubina _____

Otros _____

6.- ¿Cuánto es el tiempo de sueño que debería tener un operador de vehículos de carga para estar en condiciones de manejar?

7.- ¿Cómo se verifica el cumplimiento de las horas de descanso vs horas de conducción, y quién lo hace (y en donde)?

	Instituto Mexicano del Transporte	Coordinación de Transporte Integrado y Logística TI-04/21 Estudio exploratorio de tecnologías de seguimiento y alerta temprana en carreteras
---	--	---

8.- ¿Qué pasa si un operador da positivo en el examen toxicológico?

9.- ¿Qué pasa si un operador no pasa el examen psicofísico o el médico en operación?

10.- ¿En caso de fallecimiento del conductor en un accidente vial, ¿siempre se hace autopsia para determinar el estado de salud al momento del accidente?

11.- ¿Existe alguna manera de identificar a través de signos vitales como el ritmo cardiaco si un conductor está bajo los efectos de alguna droga? _____

11.1 En caso de ser así, ¿cuáles signos serian y de qué parámetros estaríamos hablando?

12.- ¿Considera realizar mediciones de ritmo cardiaco, oxigenación, estrés y horas de sueño durante los trayectos, pudiera tener beneficios para la seguridad del autotransporte? (si/no) (¿cuáles y por qué?)



COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado Galindo”
Parque Tecnológico San Fandila, Mpio. Pedro Escobedo,
Querétaro, México. C.P. 76703
Tel: +52 (442) 216 97 77 ext. 2610
Fax: +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>