



INDICADORES FISIOLÓGICOS EN EL ESTABLECIMIENTO DE TIEMPOS DE PAUSA DE RECUPERACIÓN PARA TRABAJO DINÁMICO: EN EL CAMINO AL DESARROLLO DE NUEVOS MODELOS PREDICTIVOS

PHYSIOLOGICAL MARKERS FOR DETERMINING DURATION OF RECOVERY BREAKS IN DYNAMIC WORK: TOWARDS NEW PREDICTIVE MODELS DEVELOPMENT

Esteban Oñate-Henríquez*
Juan Carlos Velásquez-Valencia**

Resumen: La fatiga se ha descrito como “una sensación de cansancio o falta de energía” y puede estar asociada con tareas físicamente exigentes y afectar a los trabajadores con graves consecuencias para su seguridad y la salud. Para aquellas tareas que requieren un trabajo físico dinámico, existe la necesidad de establecer tiempos de pausa de recuperación durante la jornada laboral, para evitar la fatiga. En este sentido, se han propuesto límites fisiológicos para el trabajo dinámico como el tiempo máximo aceptable de trabajo, pero también basados en umbrales de fatiga aeróbicos-anaeróbicos. No obstante, de acuerdo con diversos estudios, las tareas dinámicas pueden desarrollarse por sobre o por debajo de estos límites fisiológicos y ser no sostenibles debido a los niveles de carga física, el tiempo de trabajo y otras variables individuales de los trabajadores. Por este motivo, el objetivo de esta revisión bibliográfica es determinar y comprender los principales estudios y oportunidades en investigación que permitirían establecer tiempos de pausa de recuperación para trabajo dinámico en el camino de desarrollar nuevos modelos predictivos para su prescripción en base al esfuerzo físico e indicadores fisiológicos. Para desarrollo de esta revisión bibliográfica se ha revisado literatura clásica relacionada con fisiología del trabajo y ergonomía. Además, se ha realizado una búsqueda utilizando la estrategia bola de nieve y consultando la base de datos EBSCO y Google Scholar, para tener el mayor acceso posible a publicaciones en inglés y español entre el 2008 y 2023.

Palabras clave: Trabajo dinámico pesado, Pausas de recuperación, Capacidad física, Límites de tolerancia a la fatiga, Modelo predictivo.

Abstract: Fatigue has been described as “a feeling of tiredness or lack of energy” and may be associated with physically demanding tasks, affecting workers with potentially serious consequences for their safety and health. For tasks that require dynamic physical work, it is necessary to establish recovery breaks during the workday to prevent fatigue. In this regard, physiological limits have been proposed for dynamic work, such as the maximum acceptable working time, as well as limits based on aerobic-anaerobic fatigue thresholds. However, according to various studies, dynamic tasks can be performed above or below these physiological limits and still be unsustainable due to levels of physical

*Universidad de Concepción. Concepción, Chile. Correo electrónico: estebanonate@udec.cl. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2215-7709>.

**Universidad del Valle. Cali, Colombia. Correo electrónico: juan.carlos.velasquez@correounivalle.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0003-0139-0680>.

load, work duration, and other individual worker variables. For this reason, the objective of this literature review is to identify and understand the main studies and research opportunities that would allow for determining duration of recovery breaks for dynamic work, paving the way toward developing new predictive models for prescribing these breaks based on physical exertion and physiological indicators. For the development of this literature review, classic literature related to work physiology and ergonomics was examined. Additionally, a search was conducted using the snowball strategy and by consulting the EBSCO database and Google Scholar, to obtain the greatest possible access to publications in English and Spanish from 2008 to 2023.

Keywords: Heavy dynamic work, Recovery breaks, Physical capacity, Fatigue tolerance limits, Predictive model.

Recepción: 10.04.2025 / Revisión: 20.04.2025 / Aceptación: 29.04.2025

Introducción

La fatiga se ha descrito ampliamente como una sensación de cansancio o falta de energía (National Library of Medicine, 2019). Comúnmente el término *fatiga* se utiliza para referirse a la sensación de cansancio tras un esfuerzo intelectual, laboral o deportivo, provocando un impedimento para continuar realizándolo (Cárdenas et al., 2017). Si bien el enfoque fisiológico define la fatiga como un fallo funcional del organismo que se refleja en una disminución del rendimiento y que se origina generalmente por excesivo gasto de energía o por depleción de los elementos necesarios para su generación, provocando además alteraciones en la frecuencia cardíaca, la ventilación y la percepción de poder continuar realizando el ejercicio (Åstrand y Rodhal, 1970; Grandjean, 1988), existen otros enfoques centrados en lo biomecánico y psicológico que reflejan su interés en aspectos de fuerza muscular y mental respectivamente, pero que finalmente demuestran que la fatiga tiene una naturaleza multicausal (Ament y Verkerke, 2009). Por lo tanto, aunque hasta el día de hoy no exista una definición ampliamente aceptada para el concepto de fatiga (Cárdenas et al., 2017; Mousseau, 2004), desde el punto de vista fisiológico y ergonómico si es posible destacar las consecuencias que tiene la fatiga en el desempeño y la integridad de las personas. En este sentido, de acuerdo con la National Institute for Occupational Safety and Health de Estados Unidos (NIOSH) la fatiga puede estar asociada con tareas físicamente exigentes y afectar a los trabajadores con graves consecuencias para su seguridad y la salud. Por lo cual, aprender los riesgos de los eventos relacionados con la fatiga, identificar las fuentes de la fatiga y usar estrategias para manejar la fatiga contribuye a mantener a los trabajadores seguros y saludables (NIOSH, 2021).

Entre los trabajos que pueden conducir a la fatiga se encuentran los que contemplan la realización de tareas dinámicas que, de acuerdo con el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo de España (INSST), son actividades que producen una sucesión periódica de tensiones y relajamientos de los músculos activos con un aporte de sangre al músculo de 10 a 20 veces mayor que en estado de reposo (INSST, 2018).

En América Latina existe una variedad de trabajos que se realizan en base al esfuerzo humano en tareas dinámicas, en sectores como la agricultura, forestal, minería, construcción,

servicios, entre otros (Banco Interamericano de Desarrollo, 2015). En este sentido, cuando este tipo de actividades requieren de trabajo físico dinámico, pueden ser menos productivas como consecuencia de la fatiga y la inadecuada organización de las tareas (Apud et al., 1999). Además, el trabajo dinámico fatigante se asocia fuertemente a trabajos con mayor requerimiento de oxígeno y gasto energético, por tanto, contribuye a acelerar el desgaste físico y es motivo del porque este tipo de labores son sinónimo de trabajo pesado desde el punto de vista fisiológico (Grandjean, 1988; Wultsch et al., 2012).

En este tipo de tareas dinámicas, las principales determinantes individuales asociadas a la fatiga son la respuesta al esfuerzo, la capacidad física, de recuperación y los límites de tolerancia a la fatiga de los trabajadores, lo cual no es fácil de estudiar (Apud et al., 2002; Åstrand y Rodhal, 1970; McArdle et al., 2015). Mientras que, entre las principales estrategias para su control a nivel organizacional se encuentran: mejorar el diseño del trabajo para eliminar las fuentes de fatiga, adoptar tecnologías apropiadas para reducirla, disminuir las exigencias para este tipo de tareas y además incorporar pausas que permitan al trabajador recuperarse (Kroemer et al., 2017; Sanders y McCormick, 1993; Santos et al., 2016; Salvendy, 2012).

No obstante, a lo anteriormente expuesto, si bien existen recomendaciones sobre la cantidad y distribución de pausas para evitar o reducir la fatiga, como que estas sean más frecuentes que largas y se distribuyan durante la jornada o luego de tareas pesadas, estas recomendaciones no dejan de ser más bien lineamientos generales (Apud et al., 2002; Åstrand y Rodhal, 1970; Grandjean, 1988).

Además, aun cuando también se han planteado modelos para determinar cuantos minutos se requeriría de pausa de recuperación luego de la realización de tareas pesadas, como las antiguas fórmulas que se basan en límites arbitrarios que se encuentran entre 5 kcal/min y 4 kcal/min (Grandjean, 1988), hasta el día de hoy se mantienen recomendando como estándar. Por ejemplo, el INSST de España continúa proponiendo fórmulas de este tipo que datan de los años 50 y 60 (INSST, 2018), aun cuando los avances tecnológicos que hoy tiene disponible la fisiología del trabajo podrían aportar de criterios y recomendaciones prácticas, para el campo de la ergonomía, con el fin de establecer tiempos de pausa de recuperación, dependiendo de las capacidades y límites particulares de las personas (Apud et al., 2009; Fasching et al., 2020; Kraft et al., 2023; Preisser et al., 2016).

El trabajo físico dinámico pesado se asocia a una carga física intensa, fatiga y mayores consumos de oxígeno. Por lo tanto, es de gran interés determinar los límites para este tipo de trabajos y los requisitos de aptitud física de los trabajadores que los realizan (Wultsch et al., 2012).

Por lo tanto, el objetivo de esta revisión bibliográfica es determinar y comprender los principales estudios y oportunidades en investigación que permitirían establecer tiempos de pausa de recuperación para trabajo dinámico en el camino de desarrollar nuevos modelos predictivos para su prescripción en base al esfuerzo físico e indicadores fisiológicos.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de esta revisión bibliográfica se ha revisado literatura clásica relacionada con fisiología del trabajo y ergonomía. Además, se ha realizado una búsqueda utilizando la estrategia bola de nieve y consultando la base de datos EBSCO y Google Scholar, para tener el mayor acceso posible al contenido de las publicaciones, teniendo en consideración los siguientes descriptores: lactate threshold, maximum acceptable work time, heart rate, heart rate variability, oxygen uptake, recovery breaks y heavy work. Se revisaron artículos preferentemente publicados entre el 2008 y 2023, en inglés y en español. Los criterios de exclusión que se tuvieron en cuenta fueron documentos que no contemplaron la comprensión o la obtención de límites para la realización de trabajo físico, el establecimiento de pausas o tiempos máximos de trabajo.

Resultados y discusión

Desde hace un tiempo se ha estudiado que la sobrecarga crónica durante el trabajo pesado a largo plazo está relacionada con casos de jubilación anticipada debido al mayor riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, mortalidad y requerir pensión por invalidez (Holtermann et al., 2012; Karpansalo et al., 2003; Robroek et al. 2013; Strauss et al., 2020). Por otra parte, se ha demostrado con cada aumento del 10% en el esfuerzo individual durante el trabajo, el riesgo de ataques cardíacos en hombres sanos aumenta en un 18%, lo que indica la importancia de la aptitud física individual (Krause et al. 2015; Robroek et al. 2013).

Para evitar la sobrecarga de los trabajadores, se han establecido límites fisiológicos para el trabajo dinámico. Estos límites definen la carga de trabajo máxima sostenible, que no debe superarse de forma permanente durante el tiempo de trabajo y, por lo general, se definen como límites superiores para el rendimiento fisiológico (I. Åstrand, 1988; Marées y Heck, 2003; Tipton et al., 2013).

Lehmann (1953), Muller (1953) y Garg y Saxena (1979), han propuesto hace tiempo indicadores y límites para un máximo de 8 horas de trabajo, basados en el gasto energético de 5 Kcal/min, lo que equivale aproximadamente a 1 L/min de oxígeno, o cerca de un 30% de la capacidad física de trabajo. Mientras, Åstrand y Rodhal (1970) proponen indicadores basados en la capacidad física de trabajo y límites de un 33%, Michael et al. (1961) de 35% y Leeg y Myles (1982) de 21%, para una jornada de 8 horas.

Hoy en día existen criterios para definir los límites de tolerancia a la fatiga, por un lado, el tiempo máximo sostenible en una carga y por otro la determinación de los umbrales aeróbicos-anaeróbicos. Dentro de lo primero, los protocolos de tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT) consisten en la realización de un ejercicio a una determinada carga, la cual debe sostenerse hasta que exista alguna alteración de parámetros fisiológicos definidos, lo cual se sigue repitiendo en días distintos para cargas más elevadas, para lograr finalmente graficar la relación entre carga de trabajo y tiempo máximo que se puede ejecutar (Wu y Wang, 2002). Por otra parte, lo segundo corresponde a la utilización de los umbrales

aeróbicos-anaeróbico, para definir cuando un esfuerzo es fatigante y no puede ser sostenido por tiempo prolongado (Wilmore et al., 2010). Si bien ambos criterios son válidos, se han encontrado diferencias en los límites de carga física y los tiempos máximos de ejecución de las tareas, por lo cual otros factores podrían estar influyendo también en esta relación, como los tiempos de pausa y las capacidades individuales de los sujetos (Billat, 2001; Lucia et al., 2002; Seiler y Tønnessen, 2009).

De acuerdo a Fasching et al. (2020) las variables más frecuentemente aplicadas como límite para el trabajo dinámico son la frecuencia cardíaca (FC), el consumo de oxígeno (VO₂) y el gasto energético relacionado con el trabajo.

No obstante, si bien se han prescrito límites para el trabajo dinámico en base a la frecuencia cardíaca, en torno a 110 latidos por minuto (P.O. Åstrand, 2003), hace algunos años, Wu y Wang (2002), en un estudio realizado en seis mujeres y seis hombres que se sometieron durante seis días a ejercicios de larga duración a distintas intensidades, han propuesto tiempos máximos aceptables de trabajo (TMAT) en base a porcentajes de la capacidad aeróbica de 28,5% para 12 horas de trabajo, 31% para 10 horas, 34% para 8 y 43,5% para 4 horas.

Por su parte Velásquez (2015), en la introducción de su también laborioso estudio de TMAT, indica que para población europea se ha recomendado 28%, 30.5%, 33% y 45 % del VO₂ máx, como límites de carga de trabajo para 12, 10, 8 y 4 horas de duración.

Velásquez (2015) en su estudio TMAT, realizado en 17 mujeres y 13 varones, además de diferenciar entre los límites para hombres y mujeres, compara los límites para extremidades inferiores y extremidades superiores señalando que el tiempo máximo aceptable de trabajo para miembros inferiores y para todo el cuerpo se comportan de manera similar. No obstante, el tiempo máximo aceptable de trabajo con miembros superiores es significativamente menor. Además, señala que el índice de costo cardíaco relativo (ICCR) o porcentaje de carga cardiovascular (%CC), como también puede ser referido, parece ser el mejor indicador para medir el tiempo máximo aceptable de trabajo en campo.

En este sentido, de acuerdo a Velásquez (2015), establecer el tiempo máximo aceptable es una técnica complicada si se usa el consumo de oxígeno como indicador de carga física. En su estudio evidenció que el índice de costo cardíaco relativo (ICCR) tiene una muy buena correlación con el porcentaje de consumo de oxígeno relativo (%VO₂R) y es una técnica mucho más económica y sencilla de utilizar. Además, ofrece datos sensibles sobre la magnitud del esfuerzo cardiovascular.

No obstante, Apud et al. (2002 y 2009) evidencian que, en el sector forestal y minero, en determinadas labores, se suele superar ampliamente los límites de trabajo recomendados, lo cual llevaría a la fatiga y menor productividad dentro de la jornada laboral. Otros estudios también han demostrado que el trabajo puede mantenerse por encima de estos criterios (Preisser et al., 2016; McEntire et al. 2012).

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, Fasching et al. (2020) y Preisser et al. (2016), manifiestan que existe la necesidad de realizar estudios específicos para establecer límites individuales, ya que los límites de tiempo máximo se basan en límites para población

general y no particular para cada trabajador. De hecho, de acuerdo con Fasching et al. (2020), es esencial definir un marcador, que sea un parámetro válido de tensión individual, fisiológicamente justificable y que pueda aplicarse al trabajo pesado. En ese sentido su equipo indica que el 95,4% de los trabajadores realiza su trabajo habitual por debajo del umbral aeróbico (UA1 o VT1). Por lo tanto, sugiere que este represente el límite individual para establecer cuándo el trabajo es fisiológicamente pesado. No obstante, si bien esto sería concordante con la teoría respecto a los procesos metabólicos que permiten obtener energía, se contrapone con la evidencia respecto a trabajos de larga duración como lo estudiado por Wu y Wang (2002) y Velásquez (2015), donde se demuestra que incluso trabajos por debajo del umbral aeróbico no son sostenibles por mucho tiempo si se realizan de forma prolongada (ver tabla 1).

Tabla 1. Límites de carga física de trabajo sugeridos para trabajo realizado con miembros inferiores según tiempo de exposición.

Tiempo de trabajo (horas)	% VO2 máx.	%VO2R	ICCR
12	19	9	10
8	33	23	24
4	46.8	38	40

Modificado de Velásquez, 2015. Cuadro rojo incorporado indica niveles de carga física inferiores al umbral aeróbico.

Además de los estudios realizado Wu y Wang (2002) y Velásquez (2015), que demuestran la necesidad de límites para el trabajo prolongado, Tschakert et al. (2022), han demostrado la necesidad de estudiar individualmente a las personas para determinar el tiempo máximo de trabajo físico, por medio de un estudio en el que analizaron las respuestas fisiológicas agudas de un total de 11 hombres y mujeres jóvenes, durante un ejercicio de carga constante en cicloergómetro con una intensidad del 10% de la potencia máxima (Pmax) por debajo del segundo umbral anaeróbico (VT2), para establecer el tiempo máximo de ejercicio (tmax) y su relación con el tiempo de duración del ejercicio hasta alcanzar el punto en que se evidencia la adaptación ventilatoria (Dth2) y el inicio de la compensación ventilatoria (Dth3). Esto permitió demostrar que, mientras más tiempo se requiere para alcanzar estos puntos (Dth2 y Dth3), mayor es el tmax, aun cuando de todas formas este último osciló como máximo en un rango entre 40 y 90 minutos de duración continua.

En otro estudio, Kraft et al. (2023), estudiaron la carga física de trabajo y parámetros cardiopulmonares en relación con la capacidad individual de 14 trabajadores recolectores de basura, estableciendo que, aunque la carga de la tarea principal de manipular residuos requirió un esfuerzo por sobre VT1 durante más de 3 horas, las interrupciones y descansos permitieron distribuir la carga de trabajo a lo largo de todo el turno, por lo tanto la carga promedio se mantuvo bajo VT1, destacándose que, la mayoría de los trabajadores eligieron un ritmo que se adaptó a sus capacidades individuales y que el uso de VT1 sería lo más

apropiado como límite individual para el trabajo dinámico prolongado con pausas.

Por otra parte, desde hace un tiempo se ha estado avanzando en el estudio de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) como indicador de fatiga y límites de trabajo físico para esfuerzos moderados e intensos (Hernando et al., 2018). De acuerdo con varios estudios, durante el ejercicio moderado la frecuencia cardíaca se regularía inicialmente por el sistema nervioso autónomo (SNA), con un incremento de la modulación simpática y una retirada de la actividad parasimpática (Aubert et al., 2003; Bernardi y Piepoli, 2001; Borresen y Lambert, 2008). Esto se debería principalmente a que la respiración altera mecánicamente el retorno venoso, el gasto cardíaco y la presión arterial, lo cual es detectado por barorreceptores del SNA, produciendo modificaciones en el control autónomo de la frecuencia cardíaca (Anosov et al., 2000; Hirsch y Bischop, 1981; Perini et al., 2000). No obstante, durante el ejercicio intenso, las respuestas descritas se exacerbarían. En este sentido, algunos estudios indican que el SNA dejaría de ser efectivo en estas cargas de trabajo (Casadei et al., 1996; Cottin et al., 2004). Sin embargo, existirían otros mecanismos, mecánicos y funcionales, que influirían en la respuesta cardíaca, los cuales implican la acción refleja de los barorreceptores y la retroalimentación neuronal provocada por el trabajo muscular (Michelini y Stern, 2009; Sumi et al., 2006).

Si bien la variabilidad de la frecuencia cardíaca se ha relacionado con la influencia del sistema nervioso autónomo en el corazón en este tipo de esfuerzos, la forma de análisis de la información para ser utilizado como indicador varían, por lo tanto, es necesario utilizar criterios metodológicos establecidos para su correcta interpretación (Hernando et al., 2018; Sarmiento et al., 2013). En este sentido, los análisis espectrales de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, tanto de bandas de baja frecuencia (LF) (0,04-0,15 Hz), de alta frecuencia (HF) (0,15-0,4 Hz), de muy alta frecuencia ($> 0,4$ Hz) y de la relación tiempo frecuencia, han demostrado ser de relativa utilidad para determinar y comprender los cambios autonómicos debidos al entrenamiento físico, la respuesta cardiovascular al ejercicio y también como indicador de sobreesfuerzo o fatiga (Borresen et al. 2008; Hottenrott et al., 2006; Sarmiento et al., 2013).

Respecto a la interpretación de los datos, de acuerdo con estudios realizados por Sarmiento et al. (2013) se ha demostrado que, durante pruebas de carga incremental con cicloergómetro de extremidades inferiores realizadas en 11 sujetos, en un inicio la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno aumentan rápidamente, para luego aumentar más lentamente, lo cual sería producto de la retirada vagal y la excitación. También, en la medida que se desarrolla el ejercicio, se ha evidenciado una caída significativa de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en las bandas LF y HF, además de una disminución de la potencia LF. La potencia en la banda HF también se ha observado que disminuye durante el ejercicio moderado. No obstante, durante el ejercicio intenso, se ha evidenciado un aumento de HF que se relacionaría con la fatiga y el sobreesfuerzo, debido al efecto mecánico de la respiración en el nódulo sinusal.

Por todo lo anterior, y de acuerdo con la literatura revisada, para establecer tiempos de pausa de recuperación de forma más individualizada, es necesario determinar la relación estadística entre la capacidad física de las personas, el nivel de esfuerzo realizado, sus límites de tolerancia a la fatiga, capacidad de recuperarse y nivel de fatiga alcanzado luego de la

realización de esfuerzos dinámicos controlados.

Por otra parte, sería de mucha utilidad para determinar estas relaciones, desarrollar ecuaciones estructurales para definir la mayor cantidad de variables que podrían estar influyendo en la necesidad de tiempos de pausa de recuperación, en la espera de comprender cómo los indicadores de capacidad física, esfuerzo realizado, los límites de tolerancia a la fatiga y la capacidad de recuperarse luego de esfuerzos dinámicos, interactúan y se interrelacionan, proporcionando un marco integral y cuantitativo para la comprensión de estas variables.

Conclusiones

Por todo lo anterior, sería necesario realizar investigaciones que permitan comprender como evitar la fatiga, determinando la influencia del nivel de carga física de trabajo, el tiempo de exposición a ésta y la capacidad de recuperación de las personas con la necesidad de tiempos de pausa de recuperación. A su vez, resulta necesario valorar como esto se relacionaría también con la capacidad física del individuo y sus límites de tolerancia a la fatiga, como los umbrales aeróbicos-anaeróbicos y el tiempo máximo aceptable de trabajo, en el camino de desarrollar nuevos modelos predictivos, que permitan determinar pausas de recuperación para tareas dinámicas de acuerdo con criterios fisiológicos.

Referencias

Anosov, O., Patzak, A., Kononovich, Y., & Persson, P. B. (2000). High-frequency oscillations of the heart rate during ramp load reflect the human anaerobic threshold. *European journal of applied physiology*, 83(4-5), 388–394. <https://doi.org/10.1007/s004210000302>

Ament, W., & Verkerke, G. J. (2009). *Exercise and fatigue*. Sports medicine (Auckland, N.Z.), 39(5), 389–422. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939050-00005>

Apud, E., Espinoza, J., Gutiérrez Arévalo, M. et al. (1999). *Manual de ergonomía forestal*. Fundación Chile.

Apud, E., Meyer, F. y Maureira, F. (2002) *Ergonomía en el combate de incendios forestales*. Ed. Valverde.

Apud, E. y Meyer, F. (2009). *Ergonomía para la industria Minera*. Universidad de Concepción.

Åstrand, I. (1988). Physical demands in worklife. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 14(1988), 10–13.

Åstrand, P.O., Rodahl, K., Dahl, H. A., & Strømme, S. B. (2003). *Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise* (4th ed.). Human Kinetics.

Åstrand, P.O. & Rodahl, K. (1970). *Textbook of Work Physiology*. McGraw Hill.

Aubert, A. E., Sepa, B., & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(12), 889–919. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00003>

Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). *Tendencias de las Ocupaciones en América Latina y el Caribe 2000-2015*. Recuperado de https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Tendencias_de_las_ocupaciones_en_América_Latina_y_el_Caribe_2000-2015_es.pdf

Bernardi, L., & Piepoli, M. F. (2001). Adattamenti del sistema nervoso autonomo durante esercizio fisico [Autonomic nervous system adaptation during physical exercise]. *Italian heart journal. Supplement : official journal of the Italian Federation of Cardiology*, 2(8), 831–839.

Billat, V. L. (2001). Lactate threshold: a review of the concept and directions for future research. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(6), 1004–1011.

Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise : measurements and implications for monitoring training status. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 38(8), 633–646. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838080-00002>

Cárdenas, D., Conde-González, J., & Perales, J. C. (2017). La fatiga como estado motivacional subjetivo. *Revista andaluza de medicina del deporte*, 10(1), 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2016.04.001>

Casadei, B., Moon, J., Johnston, J., Caiazza, A., & Sleight, P. (1996). Is respiratory sinus arrhythmia a good index of cardiac vagal tone in exercise?. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 81(2), 556–564. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.2.556>

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2021, 19 de enero). National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Work and Fatigue*. Recuperado de <https://www.cdc.gov/niosh/topics/fatigue/default.html>

Cottin, F., Médigue, C., Leprêtre, P. M., Papelier, Y., Koralsztein, J. P., & Billat, V. (2004). Heart rate variability during exercise performed below and above ventilatory threshold. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(4), 594–600. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000121982.14718.2a>

Fasching, P., Rinnerhofer, S., Wultsch, G., Birnbaumer, P., & Hofmann, P. (2020). The First Lactate Threshold Is a Limit for Heavy Occupational Work. *Journal of Functional*

Morphology and Kinesiology, 5(3), 1–0. <https://doi.org/10.3390/jfmk5030066>

Garg, A., & Saxena, U. (1979). Effects of lifting frequency and technique on physical fatigue with special reference to psychophysical methodology and metabolic rate. *American Industrial Hygiene Association journal*, 40(10), 894–503. <https://doi.org/10.1080/15298667991430460>.

Grandjean, E. (1988). *Fitting the task to the man: A textbook of occupational ergonomics* (4th ed.). Taylor & Francis.

Hall, J. E. (2016). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (13th ed.). Elsevier.

Hernando, D., Hernando, A., Casajús, J. A., Saltó, R. J., & Bailón, R. (2018). Methodological framework for heart rate variability analysis during exercise: Application to running and cycling stress testing. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 56(5), 781–794. <https://doi.org/10.1007/s11517-017-1724-9>

Hirsch, J. A., & Bishop, B. (1981). Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate. *The American journal of physiology*, 241(4), H620–H629. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1981.241.4.H620>

Holtermann, A., Jørgensen, M. B., Gram, B., Christensen, J. R., Faber, A., Overgaard, K., Ektorp-Andersen, J., Mortensen, O. S., Sjøgaard, G., & Søgaard, K. (2010). Worksite interventions for preventing physical deterioration among employees in job-groups with high physical work demands: background, design and conceptual model of FINALE. *BMC Public Health*, 10(1), 120–120. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-10-120>

Holtermann A., Marott J.L., Gyntelberg F., Søgaard K., Suadicani P., Mortensen O.S., Prescott E., Schnohr P. (2012). Occupational and Leisure Time Physical Activity: Risk of All-Cause Mortality and Myocardial Infarction in the Copenhagen City Heart Study. A Prospective Cohort Study. *BMJ Open*, 2(1), e000556. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2011-000556>

Holtermann, A., Mortensen, O. S., Burr, H., Søgaard, K., Gyntelberg, F., & Suadicani, P. (2011). Physical Work Demands and Physical Fitness in Low Social Classes—30-Year Ischemic Heart Disease and All-Cause Mortality in The Copenhagen Male Study. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 53(11), 1221–1227. <https://doi.org/10.1097/jom.0b013e318233865f>

Hottenrott, K., Hoos, O., & Esperer, H. D. (2006). Herzfrequenzvariabilität und Sport [Heart rate variability and physical exercise. Current status]. *Herz*, 31(6), 544–552. <https://doi.org/10.1007/s00059-006-2855-1>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2018). *NTP 177: La carga física de trabajo: definición y evaluación*. Recuperado de <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/5-serie-ntp-numeros-156-a-190-ano-1986/ntp-177-la-carga-fisica-de-trabajo-definicion-y-evaluacion>

Karpansalo, M., Lakka, T. A., Manninen, P., Kauhanen, J., Rauramaa, R., & Salonen, J. T. (2003). Cardiorespiratory fitness and risk of disability pension: a prospective population based study in Finnish men. *Occupational and Environmental Medicine (London, England)*, 60(10), 765–769. <https://doi.org/10.1136/oem.60.10.765>

Kraft, A. M., Velasco Garrido, M., Herold, R., Harth, V., & Preisser, A. M. (2023). Physical workload and cardiopulmonary parameters in relation to individual capacity of bulk waste workers - a cross-sectional field-study. *Journal of occupational medicine and toxicology (London, England)*, 18(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s12995-023-00389-z>

Krause, N., Brand, R. J., Arah, O. A., & Kauhanen, J. (2015). Occupational physical activity and 20-year incidence of acute myocardial infarction: results from the Kuopio Ischemic Heart

Disease Risk Factor Study. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 41(2), 124–139. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3476>

Kroemer, K. H. E. (2017). *Fitting the human: Introduction to ergonomics / human factors engineering* (7.^a ed.). CRC Press.

Lehmann, G. (1953). *Praktische Arbeitsphysiologie*. Thieme.

Lucia, A., Hoyos, J., Santalla, A., & Chicharro, J. L. (2002). Cycling efficiency, VO₂ kinetics, and lactate and ventilatory thresholds in world-class professional road cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 23(05), 483-487.

Marées H., de Heck H. (2003). *Sportphysiologie*. Sportverlag Strauß.

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2015). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance* (8th ed.). Wolters Kluwer Health.

McEntire, S. J., Suyama, J., & Hostler, D. (2013). Mitigation and prevention of exertional heat stress in firefighters: a review of cooling strategies for structural firefighting and hazardous materials responders. *Prehospital emergency care*, 17(2), 241–260. <https://doi.org/10.3109/10903127.2012.749965>

Michael, E. D., Jr, Hutton, K. E., & Horvath, S. M. (1961). Cardiorespiratory responses during prolonged exercise. *Journal of applied physiology*, 16, 997–1000. <https://doi.org/10.1152/jappl.1961.16.6.997>

Michelini, L. C., & Stern, J. E. (2009). Exercise-induced neuronal plasticity in central autonomic networks: role in cardiovascular control. *Experimental physiology*, 94(9), 947–960. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2009.047449>

Ministerio del Trabajo y Previsión Social de Chile. (2017). *Ley N° 19.404/1995*. Biblioteca Congreso Nacional. Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30771>

Ministerio del Trabajo y Previsión social de Chile. (2010). *Guía Técnica para la evaluación del Trabajo Pesado*. Santiago de Chile. Recuperado de https://www.spensiones.cl/portal/institucional/594/articles-12791_guia_tecnica_evaluacion.pdf

Mousseau, M. B. (2004). *The onset and effect of cognitive fatigue on simulated sport performance*. Kinesiology Publications, University of Oregon.

Muller E. A. (1953). The physiological basis of rest pauses in heavy work. *Quarterly journal of experimental physiology and cognate medical sciences*, 38(4), 205–215. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.1953.sp001031>

National Library of Medicine (NLM), (2019, 16 de abril). A.D.A.M. *Medical Encyclopedia, Fatigue*. Recuperado de <https://medlineplus.gov/ency/article/oo3088.htm>

Organización Mundial de la Salud. (2020). *Directrices sobre actividad física y comportamiento sedentario*. Ginebra. Recuperado de <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015128>

Perini, R., Milesi, S., Fisher, N. M., Pendergast, D. R., & Veicsteinas, A. (2000). Heart rate variability during dynamic exercise in elderly males and females. *European journal of applied physiology*, 82(1-2), 8–15. <https://doi.org/10.1007/s004210050645>

Preisser, A. M., Zhou, L., Velasco Garrido, M., & Harth, V. (2016). Measured by the oxygen uptake in the field, the work of refuse collectors is particularly hard work: Are the limit values for physical endurance workload too low?. *International archives of occupational and environmental health*, 89(2), 211–220. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1064-8>

Robroek, S. J., Reeuwijk, K. G., Hillier, F. C., Bambra, C. L., van Rijn, R. M., & Burdorf, A. (2013). The Contribution of Overweight, Obesity, and Lack of Physical Activity to Exit from Paid

Employment: A Meta-Analysis. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 39(3), 233–240. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3354>

Rodahl, K. (1989). *Physiology of work* (1st ed.). Taylor & Francis.

Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1993). *Human Factors in Engineering and Design* (7th ed.). McGraw-Hill.

Santos, J., Baptista, J. S., Monteiro, P. R. R., Miguel, A. S., Santos, R., & Vaz, M. A. P. (2016). The influence of task design on upper limb muscles fatigue during low-load repetitive work: A systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 52, 78–91. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.09.010>

Salvendy, G. (Ed.). (2012). *Handbook of human factors and ergonomics* (Fourth edition). Wiley.

Sarmiento, S., García-Manso, J. M., Martín-González, J. M., & Cols. (2013). Heart rate variability during high-intensity exercise. *Journal of Systems Science and Complexity*, 26(1), 104–116. <https://doi.org/10.1007/s11424-013-2287-y>

Seiler, S., & Tønnessen, E. (2009). Intervals, thresholds, and long slow distance: the role of intensity and duration in endurance training. *Sportscience*, 13, 32–53.

Strauss, M., Foshag, P., & Leischik, R. (2020). Prospective Evaluation of Cardiovascular, Cardiorespiratory, and Metabolic Risk of German Office Workers in Comparison to International Data. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1590. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051590>

Sumi, K., Suzuki, S., Matsubara, M., Ando, Y., & Kobayashi, F. (2006). Heart rate variability during high-intensity field exercise in female distance runners. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 16(5), 314–320. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00492.x>

Tipton, M. J., Milligan, G. S., & Reilly, T. J. (2013). Physiological employment standards I. Occupational fitness standards: objectively subjective? *European Journal of Applied Physiology*, 113(10), 2435–2446. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2569-4>

Tschakert, G., Handl, T., Weiner, L., Birnbaumer, P., Mueller, A., Groeschl, W., & Hofmann, P. (2022). Exercise duration: Independent effects on acute physiologic responses and the need for an individualized prescription. *Physiological reports*, 10(3), e15168. <https://doi.org/10.14814/phy2.15168>

Velásquez V., Juan C. (2015). Tiempo máximo aceptable de trabajo para tareas ejecutadas con miembros superiores e inferiores. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 47(3), 313-323. <http://dx.doi.org/10.18273/revsal.v47n3-2015007>

Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2010). *Fisiología del esfuerzo y del deporte* (6^a ed., revisada y ampliada). Paidotribo.

Wu, H. C., & Wang, M. J. (2002). Relationship between maximum acceptable work time and physical workload. *Ergonomics*, 45(4), 280–289. <https://doi.org/10.1080/00140130210123499>

Wultsch, G., Rinnerhofer, S., Tschakert, G., & Hofmann, P. (2012). Governmental regulations for early retirement by means of energy expenditure cut offs. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 38(4), 370–379. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3195>



Todos los contenidos de la revista **Ergonomía, Investigación y Desarrollo** se publican bajo una [Licencia Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional](#) y pueden ser usados gratuitamente, dando los créditos a los autores y a la revista, como lo establece la licencia