

Sistema experto para determinar la frecuencia cardíaca máxima en deportistas con factores de riesgo

Hugo Cristancho Chinome, Jorge Enrique Otalora Luna^{1,✉}, Mauro Callejas Cuervo¹

¹Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Resumen— En este trabajo se presenta un sistema experto (SE) que permite establecer la frecuencia cardíaca máxima en términos de porcentaje de intensidad, la duración de una sesión de entrenamiento y la frecuencia en días por semana. La base del SE es el conocimiento de profesionales en el área de medicina y del deporte, que ayuda a los deportistas con padecimiento de enfermedades o factores de riesgo a tomar mejores decisiones al momento de realizar ejercicio físico. Este sistema se desarrolló en un ambiente web para facilitar la adquisición de los datos por parte de los profesionales, permitiendo así, la incorporación de varios criterios donde la aplicación del algoritmo del SE y de minería de datos proveen a los deportistas resultados con soporte médico. El SE ha sido incorporado a un software que se encarga de monitorizar la frecuencia cardíaca en tiempo real en una disciplina deportiva, donde se evidenció el buen funcionamiento del SE.

Palabras clave— Deporte; factores de riesgo; frecuencia cardíaca; sesión de entrenamiento; sistema experto.

EXPERT SYSTEM FOR DETERMINING THE HEART RATE MAXIMUM IN ATHLETES WITH RISK FACTORS

Abstract—This paper presents an expert system (SE) that establishes the maximum heart rate in percentage terms of intensity, duration of a training session and frequency in days per week is presented. The base SE is the knowledge of professionals in the field of medicine and sport that helps athletes suffering from diseases or risk factors make better decisions at the time of exercise. This system was developed in a web environment to facilitate the acquisition of data by professionals, thus allowing the incorporation of several criteria where application of the algorithm SE and mining provide athletes results with medical support. The SE has been incorporated into software that is responsible for monitoring the heart rate in real time in a sport where the proper functioning of the SE was evident.

Keywords— Sport; Diseases; Factor risk; Heart rate; Workout; Expert system.

SISTEMA ESPECIALISTA PARA DETERMINAR A TAXA CORAÇÃO MÁXIMO EM ATLETAS COM FATORES DE RISCO

Resumo—Este trabalho apresenta um sistema especialista (SE), que estabelece a frequência cardíaca máxima em termos percentuais de intensidade, a duração de uma sessão de treinamento e a frequência em dias por semana é apresentado. A base de SE é o conhecimento de profissionais no campo da medicina e esporte, que ajuda atletas que sofrem de doenças ou factores de risco a tomar melhores decisões no momento do exercício. Este sistema foi desenvolvido em um ambiente web para facilitar a aquisição de dados por profissionais, permitindo a incorporação de vários critérios, quando a aplicação do algoritmo SE e mineração oferecer aos atletas resultados com apoio médico. A SE foi incorporado no software que é responsável por monitorar o ritmo cardíaco em tempo real em um esporte onde o bom funcionamento da SE foi evidente.

Palavras-chave— Esporte; Doenças; Factores de risco; Frequência cardíaca; Exercício; Sistema especialista

I. INTRODUCCIÓN

Diversos estudios han determinado que la actividad física está directamente relacionada con el cuidado de enfermedades y factores de riesgo, esto se evidencia en [1-11], dando a conocer así, la existencia de procedimientos y lineamientos que los médicos o deportólogos pueden tener en cuenta al momento de preinscribir a los deportistas. Por ejemplo [12], dice que la actividad física esta inversamente relacionada con el riesgo de sufrir una enfermedad cardiaca coronaria y establece unas pautas para una preinscripción adecuada del ejercicio físico [13-17], sin embargo, la mala realización de esta preinscripción representa un alto riesgo para la población, una de las consecuencias de lo anterior se puede verificar en [18-21]. Los factores de riesgo y enfermedades pueden limitar la aptitud física y aumentar el riesgo de acontecimientos adversos durante la práctica del ejercicio [22]. Es por lo anterior, que algunas investigaciones en inteligencia artificial, desarrollo de sistemas expertos y proceso de minería de datos, se han enfocado en la implementación de guías, procedimientos y herramientas evidenciadas en [23-31], que aportan a los deportistas a tomar buenas decisiones al momento de realizar actividades físicas con respecto a enfermedades o factores de riesgo que éstos pueden padecer.

El presente trabajo aporta un sistema experto basado en conocimiento que determina una de muchas fórmulas indirectas para calcular la frecuencia máxima basado en la edad del deportista, frecuencia cardíaca máxima en porcentaje de intensidad, duración apta en minutos de la sesión de entrenamiento y la frecuencia en días por semana recomendada según la enfermedad o factor de riesgo.

Teniendo en cuenta la viabilidad de desarrollar el sistema experto en un ambiente web como lo fue en [32], éste se desarrolló de tal manera que los profesionales médicos tuvieron acceso a la interfaz de alimentación de datos por medio de tablas con herramientas de selección, donde especifica la fórmula, el nombre de la enfermedad, la frecuencia máxima recomendada en términos de porcentaje de intensidad, la duración del entrenamiento y los días por

semana. Según lo anterior, el sistema experto por medio de un proceso de minería de datos se encarga de mostrar la mejor opción a cada deportista según su padecimiento o características propias, basado en el criterio de varios profesionales médicos o deportólogos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo a lo investigado en [33-35], fueron necesarios algunos elementos, métodos y conceptos para el desarrollo del sistema experto los cuales se mencionan a continuación:

Método de Karvonen

Según el método Karvonen la frecuencia cardíaca esperada ($FC_{esperada}$) es igual a la diferencia de la frecuencia cardíaca máxima (FC_{max}) y la frecuencia cardíaca en reposo (FC_{reposo}) por el porcentaje de intensidad más la frecuencia cardíaca en reposo (FC_{reposo})[36], es decir:

$$FC_{esperada} = [(FC_{max} - FC_{reposo}) \times \%trabajo] + FC_{reposo}$$

Para calcular la frecuencia cardíaca esperada, se analizará en detalle cada una de las tres variables que componen el método Karvonen.

A) Frecuencia cardíaca máxima

Puede calcularse de manera indirecta con la ayuda de fórmulas predictivas. Se eligieron cinco fórmulas de acuerdo a los estudios realizados en [35, 37-41]:

- ACSM: $FC_{max} = 220 - edad$
- Tanaka: $FC_{max} = 208 - (0,7 \times edad)$
- Engels: $FC_{max} = 214 - (0,65 \times edad)$
- Whaley Hombres: $FC_{max} = 214 - (0,79 \times edad)$
- Whaley Mujeres: $FC_{max} = 209 - (0,72 \times edad)$.

B) Frecuencia cardiaca en reposo

También denominada frecuencia cardiaca basal, es aquella que se obtiene en estado de absoluta quietud, Vivian Heyward recomienda descansar de cinco a diez minutos previos a la sesión de entrenamiento en decúbito supino o sentado, este valor debe calcularse de manera precisa, ya que, de lo contrario la frecuencia cardiaca esperada puede no ser la indicada [42].

C) Porcentaje de trabajo

Está ligada a la intensidad, y es preciso especificar que la escala de percepción de esfuerzo de Borg y la clasificación que realizó ACSM del porcentaje de intensidad en 1998, tienen un papel importante en esta variable.

La clasificación de la intensidad del esfuerzo se implementó de acuerdo a la escala de percepción de esfuerzo de Borg [43], que se muestra en la Tabla 1 y está basada en un entrenamiento aeróbico de 20 a 60 minutos [44].

Tabla 1. Clasificación de la intensidad del esfuerzo. Tomado de [44].

Clasificación de la Intensidad	Intensidad FC (%)	Por escala de Borg
Muy ligera	< 35	<10
Ligera	35-54	10-11
Moderada	55-69	12-13
Fuerte	70-89	14-16
Muy fuerte	>= 90	17-19
Máxima	100	20

D) Duración

Se tuvo en cuenta el trabajo de [45] y [46], referente a la cantidad de minutos de una sesión de entrenamiento, este tiempo puede oscilar entre 10 y 60 minutos según la intensidad. Los expertos recomiendan realizar sesiones mínimo de 30 minutos a intensidad moderada, en el caso de personas con baja condición física deben realizar sesiones con series cortas de 10 minutos [47].

E) Frecuencia

Se incluyó este elemento de acuerdo a [45], [48] y [49]. La frecuencia es la cantidad de días por semana en la que una persona realiza ejercicio físico, la recomendación es entrenar de 3 y 5 días por semana según la característica del deportista [47].

III. RESULTADOS

A continuación se establece el resultado de esta investigación, partiendo desde el aspecto tecnológico,

hasta las características conceptuales del sistema expuestas en los materiales y métodos, junto con una prueba que se le aplicó a una persona sedentaria de 35 años.

En las Tablas 2, 3, 4, 5 y 6, se observan los factores tenidos en cuenta como insumo para la implementación del sistema experto.

A) Fórmula de frecuencia cardiaca máxima.

Tabla 2. Factor 1 del sistema experto: Fórmula de frecuencia cardiaca máxima.

Factor 1	Fórmula de frecuencia cardiaca máxima.
Objetivo	Seleccionar la fórmula de frecuencia cardiaca máxima que el profesional médico considere es la más adecuada.
Justificación	De acuerdo a la discusión de algunos investigadores, los estudios arrojaron que existen fórmulas poco precisas pero aun así existen empresas que las usan, otras son más eficientes y existe un crecimiento de nuevas fórmulas a medida que las investigaciones científicas lo demandan [50].
Procedimiento	El profesional selecciona una de las fórmulas presentadas, haciendo click sobre el botón que las representa respectivamente en la Fig. 1.
Datos de selección	<ul style="list-style-type: none"> • ACSM: $FC_{max} = 220 - edad$ • Tanaka: $FC_{max} = 208 - (0,7 * edad)$ • Whaley: Hombres $FC_{max} = 214 - (0,79 * edad)$, Mujeres $FC_{max} = 209 - (0,72 * edad)$ • Engels: $FC_{max} = 214 - (0,65 * edad)$
Observaciones	Debido a la masificación de fórmulas que expone [50], se permite el ingreso de nuevas fórmulas a los datos de selección si es necesario.

B) Frecuencia cardiaca en reposo

Tabla 3. Factor 2 del sistema experto: frecuencia cardiaca en reposo.

Factor 2	Frecuencia cardiaca en reposo.
Objetivo	Calcular la frecuencia cardiaca basal o en reposo.
Justificación	Para calcular la intensidad máxima sugerida, es necesario este dato puesto que hace parte de la estructura del método Karvonen.
Procedimiento	Por medio del monitor cardiaco, calcular la frecuencia cardiaca basal durante un minuto previo a la sesión de entrenamiento en estado cubito supino o sentado, posteriormente este dato ingresa al sub-modulo.
Datos de selección	No aplica
Observaciones	Este factor no es dependiente del profesional.

1. Haga click en la fórmula que crea la más apropiada para calcular la frecuencia cardiaca máxima (FCmax)

Fórmula de ACSM

Fórmula de Tanaka

Fórmula de Whaley

Fórmula de Engels

Usted ha elegido la FÓRMULA DE ENGELS: $FC_{max}(\text{estimada}) = 214 - (0,65 * \text{edad})$

Fig. 1. Selección de fórmulas para calcular la frecuencia cardiaca máxima. Autores

C) Porcentaje de trabajo

Tabla 4. Factor 3 del sistema experto: Porcentaje de trabajo.

Factor 3	Porcentaje de trabajo.
Objetivo	Determinar el porcentaje de trabajo adecuado, acorde al factor de riesgo o enfermedad.
Justificación	Debido a la existencia de factores de riesgo y enfermedades en los deportistas, se determinó que no todos pueden tener la misma intensidad de trabajo. El profesional selecciona el porcentaje de trabajo en un combo box de acuerdo a los factores de riesgo y enfermedades presentes en el sub-módulo. Fig. 2.
Procedimiento	
Datos de selección	<ul style="list-style-type: none"> N/A; 10%; 20%; 30%; 40%; 50%; 60%; 70%; 80%; 90%; 100%
Observaciones	En el sub módulo existe una lista en forma de grilla, cada fila de esta grilla contiene el nombre de la enfermedad o factor de riesgo en la segunda columna y en la tercera se encuentra el combo box del porcentaje de trabajo.

Tabla 5. Factor 5 del sistema experto: Frecuencia.

Factor 4	Frecuencia
Objetivo	Determinar la frecuencia de días de entrenamiento recomendada por el profesional acorde al factor de riesgo o enfermedad. En pacientes con EPOC, pueden tener una buena rehabilitación con dos días de trabajo a la semana, sin embargo, algunos resultados concluyen que para mejorar esta rehabilitación se necesitan tres días de trabajo. Esto aplica para otros factores de riesgo o enfermedades.
Justificación	El profesional selecciona la frecuencia en días de la sesión de entrenamiento en un combo box de acuerdo a los factores de riesgo y enfermedades presentes en el sub-módulo. Fig. 3.
Procedimiento	
Datos de selección	<ul style="list-style-type: none"> N/A; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Observaciones	En el sub módulo existe una lista en forma de grilla, cada fila de esta grilla contiene el nombre de la enfermedad o factor de riesgo en la primera columna y en la quinta se encuentra el combo box de la frecuencia en días para sesiones de entrenamiento.

Tabla 6. Factor 4 del sistema experto: Duración.

Factor 4	Duración
Objetivo	Determinar la duración de la sesión de entrenamiento recomendada por el profesional acorde al factor de riesgo o enfermedad.
Justificación	Uno de los aspectos fisiológicos que más ha generado discusión es la presión arterial, los investigadores determinaron que el efecto hipotensor depende de la duración aunque otros plantean que es irrelevante. Esta discusión también aplica para otros aspectos fisiológicos.
Procedimiento	El profesional selecciona la duración de la sesión de entrenamiento en un combo box de acuerdo a los factores de riesgo y enfermedades presentes en el sub-módulo. Fig. 4.
Datos de selección	<ul style="list-style-type: none"> N/A; 10 min; 15 min; 30 min; 45 min; 60 min.
Observaciones	En el sub módulo existe una lista en forma de grilla, cada fila de esta grilla contiene el nombre de la enfermedad o factor de riesgo en la segunda columna y en la sexta se encuentra el combo box de la duración en minutos de la sesión de entrenamiento.

En la cuarta columna (Fig. 5) se encuentra el nivel de intensidad cualitativo teniendo en cuenta la Tabla 2, puesto que es la escala que plantea el American College of Sports Medicine (ACSM) de acuerdo al porcentaje de trabajo. El profesional tiene la opción de seleccionar la opción (N/A) en caso que considere que la persona no debe realizar ejercicio físico.

El insumo de este sistema experto proviene de profesionales médicos seleccionados. Las enfermedades y factores de riesgo que son reconocidas a nivel científico son ingresadas por administradores y profesionales en medicina al sub-modulo para su respectiva evaluación.

Prueba realizada a una persona sedentaria de 35 años

Hasta el momento se han ingresado 5 enfermedades o factores de riesgo que fueron evaluados por 10 profesionales de la salud que se han incorporado hasta la fecha, en este caso sólo se mostrará el resultado para el sedentarismo, los resultados se pueden observar de manera gráfica en las Figs. 6, 7, 8 y 9.

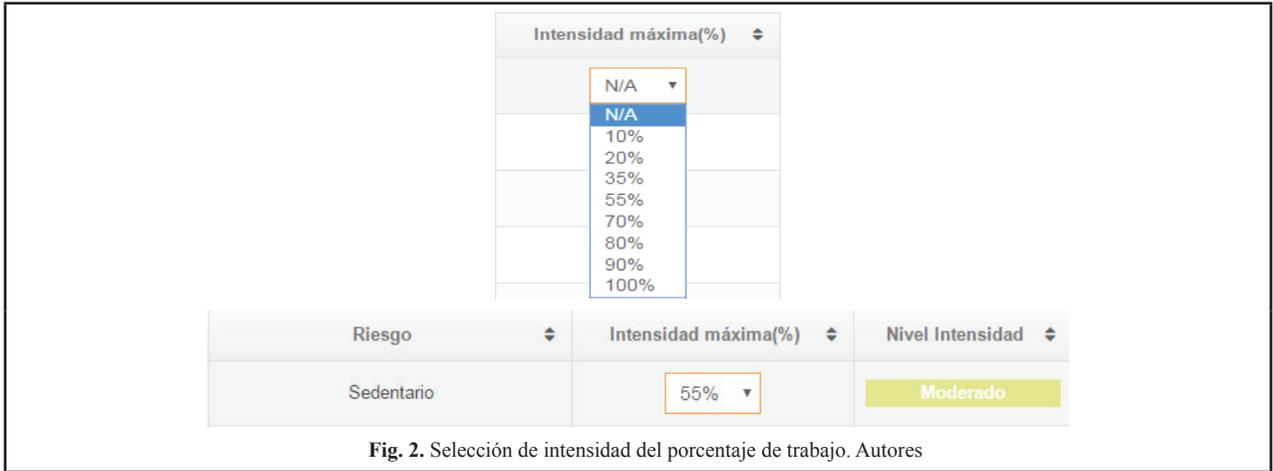


Fig. 2. Selección de intensidad del porcentaje de trabajo. Autores

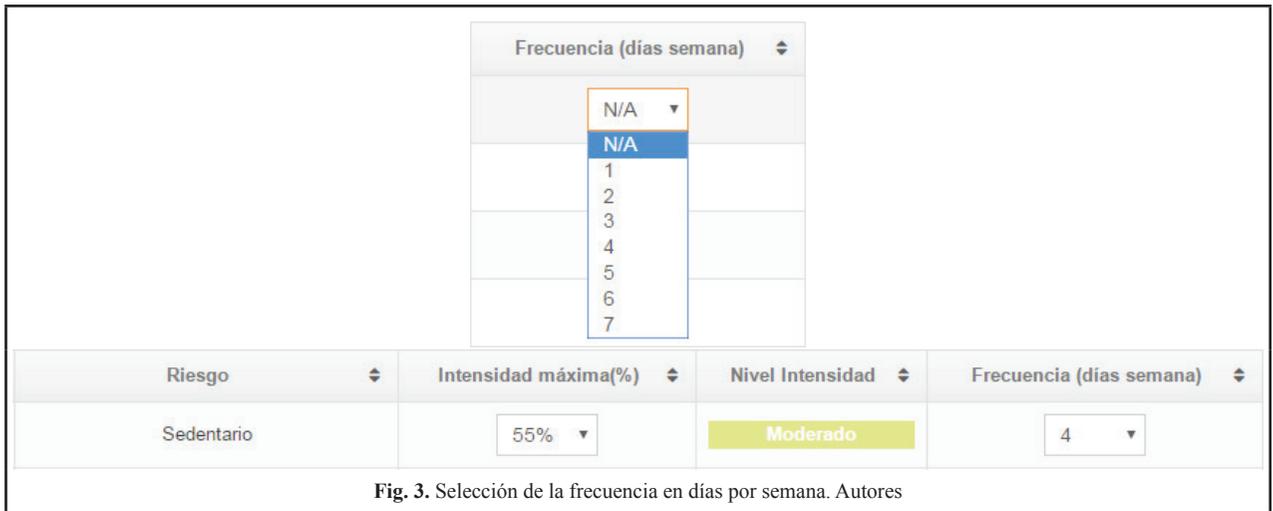


Fig. 3. Selección de la frecuencia en días por semana. Autores

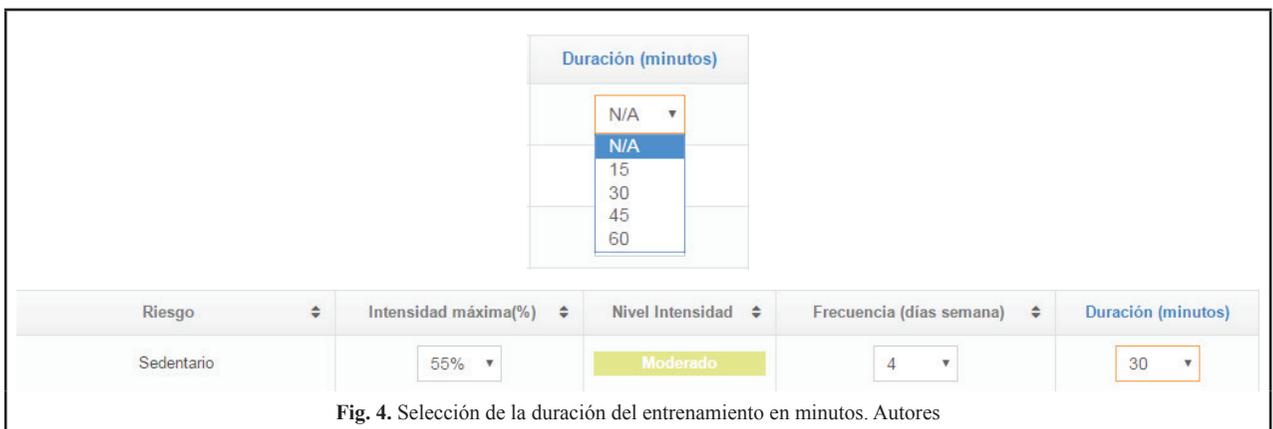


Fig. 4. Selección de la duración del entrenamiento en minutos. Autores

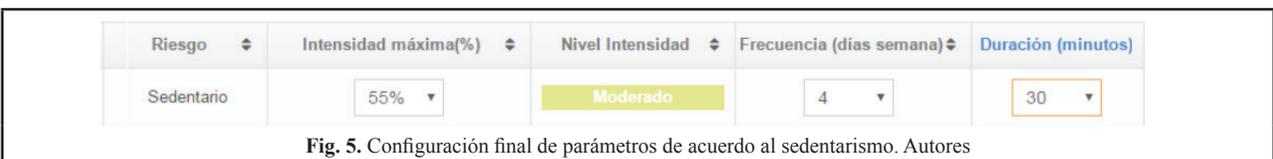
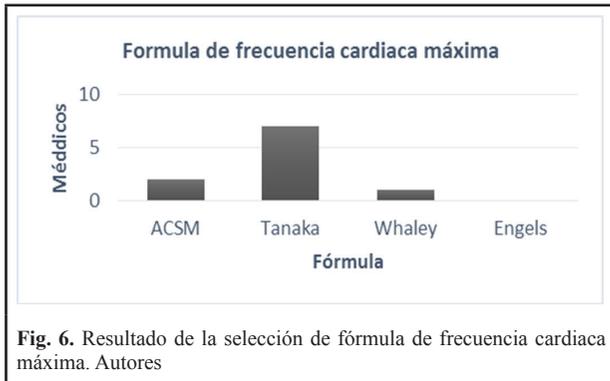
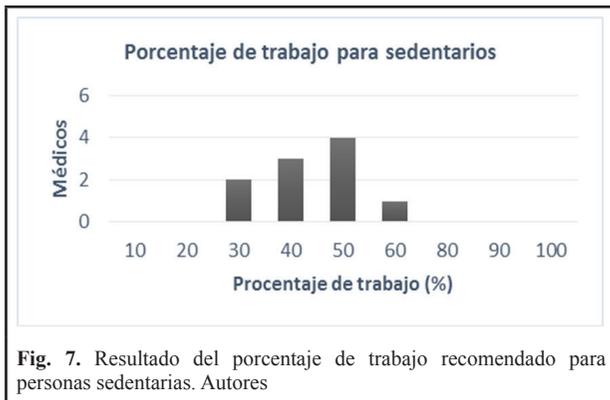


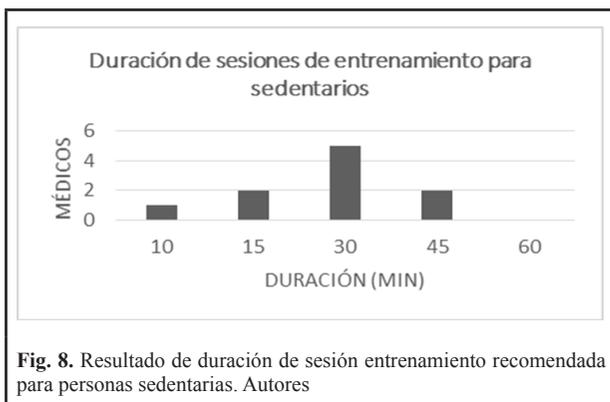
Fig. 5. Configuración final de parámetros de acuerdo al sedentarismo. Autores



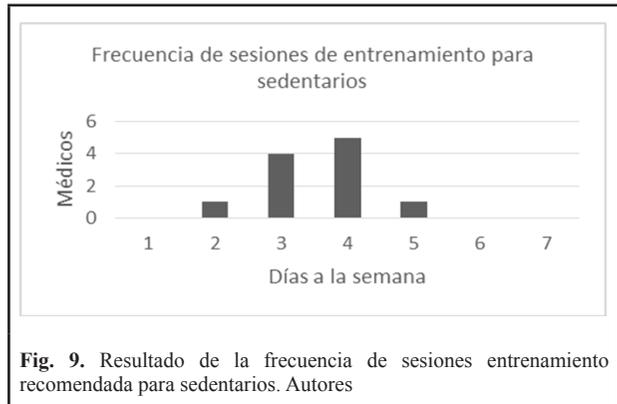
La fórmula de Tanaka es la más recomendada por los profesionales.



La mayoría de los profesionales recomiendan a las personas sedentarias realizar ejercicio físico máximo al 50% de trabajo.



La duración recomendada es de 30 minutos en personas sedentarias.



La frecuencia recomendada es de 4 días por semana en sedentarios.

Aplicando el método karvonen a una persona sedentaria de 35 años de sexo masculino y con frecuencia cardiaca basal de 84 pulsaciones por minuto:

$$FC_{max} = 208 - (0,7 * edad) \text{ (Tanaka)}$$

$$FC_{max} = 208 - (0,7 * 35) = 183,5 \text{ ppm}$$

$$FC_{reposo} = 84 \text{ ppm}$$

$$FC_{esperada} = [(FC_{max} - FC_{reposo}) * \%trabajo]$$

$$+ FC_{reposo}$$

$$FC_{esperada} = [(183,5 - 84) * 0,5] + 84$$

$$FC_{esperada} = 133,75 \text{ ppm}$$

La intensidad de trabajo máxima es de 133,75 pulsaciones por minuto, con duración de 30 minutos cada sesión y con una frecuencia de 4 días por semana de ejercicio físico para esta persona sedentaria.

IV. DISCUSIÓN

Este sistema experto se implantó a un software encargado de monitorizar variables fisiológicas de deportistas que practican ciclismo bajo techo, y que fue desarrollado por el grupo de investigación GIS de la Universidad Pedagógica y Tecnológica. En pruebas de simulación a una persona sedentaria, el software es capaz de lanzar una alarma visual y una auditiva cuando su frecuencia cardiaca excede el 35% de su intensidad, evidenciando así el aporte que el sistema experto brinda en aplicaciones de ambiente real.

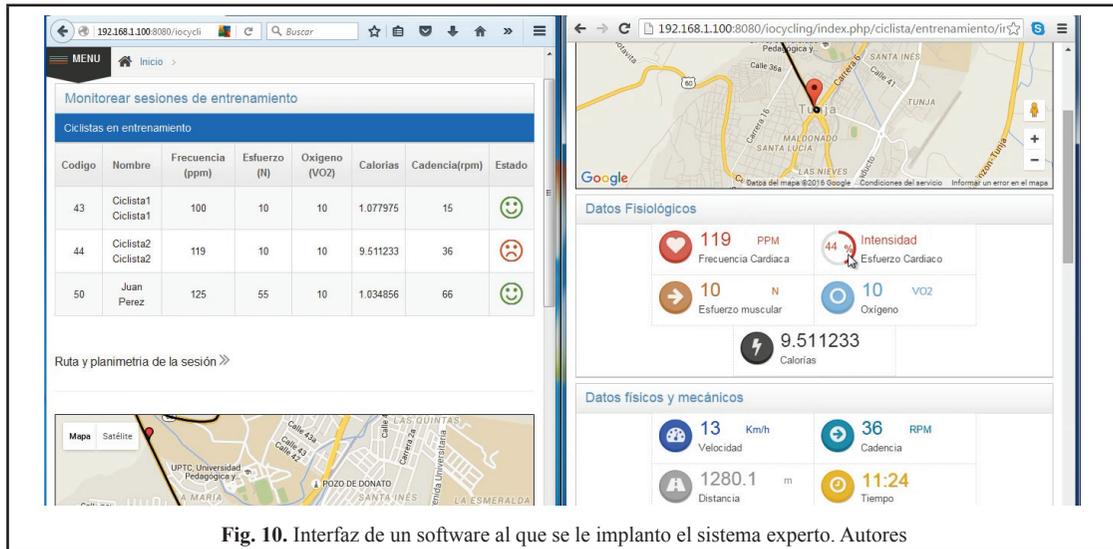


Fig. 10. Interfaz de un software al que se le implanto el sistema experto. Autores

En la Fig. 10, se puede observar dos vistas, la izquierda muestra los ciclistas que están realizando la sesión de entrenamiento y a la derecha la vista del ciclista 2. Se puede evidenciar en la vista del ciclista que la intensidad está en el 44%, indicando así que su frecuencia cardiaca está por encima un 9% de lo recomendado por el sistema experto. En la vista izquierda del administrador de la sesión de entrenamiento se puede apreciar que el estado del ciclista 2 indica que esta fuera del rango recomendado dando la alarma visual y auditiva esperada cuando estos casos se presentan.

Así como la monitorización de la frecuencia cardiaca en tiempo real, el sistema experto genera información sobre el tiempo de la sesión de entrenamiento y los días por semana recomendados.

V. CONCLUSIONES

- El sistema experto puede ser implantado en diferentes aplicaciones informáticas que impliquen el uso de monitorización de frecuencia cardiaca, ya que es un sistema basado en conocimiento bajo el método Karvonen que es avalado científicamente y se desarrolló bajo una arquitectura que es fácilmente adaptable.

- En [18], realizaron un estudio a una persona sedentaria de 41 años sometándolo a un esfuerzo de trabajo utilizando el protocolo de Bruce, aplicando el sistema experto propuesto por esta investigación se concluye que por sugerencia, esta persona debió estar en una intensidad máxima de 125,65 pulsaciones por minuto y no de 185 ppm momento en el cual tuvo dificultades de salud.

- A pesar de que el sistema experto está siendo aplicado a un software cuya disciplina es el ciclismo bajo techo, puede aplicarse a cualquier disciplina deportiva que

involucra sistemas de información y monitorización de frecuencia cardiaca.

- El sistema experto busca sugerir una intensidad máxima de trabajo basado en conceptos de profesionales médicos, sin embargo, el sistema experto no pretende solucionar en un 100% situaciones adversas que se puedan presentar en el ejercicio físico.

REFERENCIAS

- Crespo-Salgado J.J., Delgado-Martín J.L., Blanco-Iglesias O., Aldecoa-Landesa S. Basic guidelines for detecting sedentarism and recommendations for physical activity in primary care [Guía básica de detección del sedentarismo y recomendaciones de actividad física en atención primaria]. *Aten. Primaria*, 47(3), 175–183, 2015.
- Lalinde Acevedo P.C., Mayorga Torres J.M., Cardona Maya W.D. Relación entre la actividad física, el sedentarismo y la calidad seminal, *Rev. Chil. Obstet. Ginecol.*, 79(4), 323–329, 2014.
- Grao-Cruces A., Nuviala A., Fernández-Martínez A., Martínez-López E.J. Relationship of physical activity and sedentarism with tobacco and alcohol consumption, and Mediterranean diet in Spanish teenagers. *Nutr. Hosp.*, 31(4), 1693–700, 2015.
- Manzaneda A.J., Lazo-Porrás M., Málaga G. Physical activity in outpatients with type 2 diabetes in a national hospital of Peru. *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Publica*, 32(2) 311–315, 2015.
- Compean Ortiz L.G., Quintero-valle L.M., Ángel-Pérez B. Del, Reséndiz-González E., Salazar-González B.C. Educación, actividad física y obesidad en adultos con diabetes tipo 2 desde la perspectiva del autocuidado de Orem. *Aquichan.*, 13, 347–363, 2013.
- Aguilar Cordero M.J., Sánchez López A.M., Padilla López C.A., Mur Villar N., Sánchez Marengo A., González Mendoza J.L., Guisado Barrilao R. Influencia de un programa de actividad física en niños y adolescentes obesos con apnea del sueño; protocolo de estudio. *Nutr. Hosp.*, 28(3), 701–704, 2013.
- Guedes Martins L.C. Nivel de actividad física en portadores de hipertensión arterial. *Latino-am Enferm.*, 17, 4, 2009.

- [8]. Vidarte J.A., Vélez C., Sandoval C., Alfonso M.L. Actividad Física: Estrategia De Promoción De La Salud. *Hacia la Promoción la Salud*, 16(1), 202–218, 2011.
- [9]. Achury D., Rodríguez-Colmenares S. M., Agudelo-Contreras L. A., Hoyos-segura J. R., Acuña-Español J. A. Calidad de vida del paciente con enfermedad cardiovascular que asiste al programa de rehabilitación cardiaca. *Enferm. Bogotá Colomb.*, 13(2), 49–74, 2011.
- [10]. Arteaga A., Bustos P., Soto R., Velasco N., Amigo H. Actividad física y su asociación con factores de riesgo cardiovascular. Un estudio en adultos jóvenes. *Rev Med Chile*, 138, 1209–1216, 2010.
- [11]. Aguirre-Urdaneta M.A., Rojas-Quintero J.J., Lima-Martínez M.M. Actividad física y síndrome metabólico: Citius-Altius-Fortius. *Av. en Diabetología*, 23(3) 324–389, 2007.
- [12]. Aristizabal J., Jaramillo H., Rico M. Pautas generales para la prescripción de la actividad física en pacientes con enfermedades cardiovasculares. *Rev. médica Univ. Antioquia*, 16(3), 240–253, 2003.
- [13]. Moraga C. Prescripción de ejercicio en pacientes con hipertensión arterial. *Rev. Costaricense Cardiol.*, 10(1), 19–23, 2008.
- [14]. Arias-Vázquez P.I., Vega V.B., Sulub-Herrera A., Carrillo-Rubio J.A., Ramírez-meléndez A. Beneficios clínicos y prescripción del ejercicio en la prevención cardiovascular primaria: Revisión. *Rev. medigrap*, 25(2), 63–72, 2013.
- [15]. González Aramendi J.M., Prescripción de ejercicio físico en la diabetes (II). *Arch. Med. del Deport.*, 25(126), 279–288, 2008.
- [16]. Gómez R., Monteiro H., Cossio-Bolaños M.A., Fama-Cortez D., Zanesco A. El ejercicio físico y su prescripción en pacientes con enfermedades crónicas degenerativas. *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Pública*, 27(3), 379–386, 2010.
- [17]. Roldan E.E., Rendón D.E. Propuesta de prescripción del ejercicio en obesos. *Rev. Politécnica*, 16, 75–85, 2013.
- [18]. Pereira R. Bloqueo auriculoventricular avanzado inducido por ejercicio: síndrome vasovagal. *Chil Cardiol*, 30, 3, 2011.
- [19]. Augusto C., Henry R. J. Uso de la cafeína en el ejercicio físico: ventajas y riesgos. *Rev. Fac. Med.*, 61(4), 459–468, 2013.
- [20]. Ubiratan F. El efecto de la deshidratación en el rendimiento anaeróbico. *Rev. Ciencias del Ejerc. y Salud*, 4(1), 13–21, 2006.
- [21]. Jimenez J.M., Mora Rojas A. V., Garcia P. R., Ramirez Marrero F. A. El uso de los esteroides anabolico-androgenico en la practica deportiva. *Med. Sci. Sport. Exerc.*, 4, 534–539, 1987.
- [22]. Rodríguez J.H. Papel del ejercicio físico en las personas con diabetes mellitus. *Rev. Cuba. Endocrinol.*, 21, 2, 2010.
- [23]. Hoang ChuDuc H., NguyenDuc T., NguyenPhan K., Intelligent Heart Rate Variability Processing System. *5th Int. Conf. Biomed. Eng. Vietnam*, 46, 96–99, 2015.
- [24]. Cuadrado Rodríguez S., Gonzalez Rodríguez E.F., Curbelo Hernandez, H., Luna Carvajal Y., Casas Cardoso G., Gutierrez Martinez I. Sistema experto basado en casos para el diagnóstico de la hipertensión arterial. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 202–213, 2011.
- [25]. Néstor J., José H. Modelo de simulación y minería de datos para identificar y predecir cambios presupuestales en la atención de pacientes con hipertensión arterial. *Salud Pública*, 17, 789–800, 2015.
- [26]. Prakash D., Mageshwari U.T, Prabakaran K., Suguna A. Detection of Heart Diseases by Mathematical Artificial Intelligence Algorithm Using Phonocardiogram Signals. *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, 3(1) 145–150, 2013.
- [27]. Hravnak M., Chen L., Dubrawski A., Bose E., Clermont G., Pinsky M. R. Real alerts and artifact classification in archived multi-signal vital sign monitoring data: implications for mining big data. *J. Clin. Monit. Comput.*, 14, 1–5, 2015.
- [28]. Chengxian C., Wei W. Heart rate measurement algorithm based on artificial intelligence. *PubMed - NCBI*, 34, 1–3, 2010.
- [29]. Sato A., Rekimoto J., Designable Sports Field: Sport Design by a Human in Accordance with the Physical Status of the Player. *Proc. 6th Augment. Hum. Int. Conf. - AH '15*, 129–136, 2015.
- [30]. Delgado Montenegro L., Cortez Vásquez A., Ibañez Prentice E. Aplicación de metodología Buchanan para la construcción de un sistema experto con redes bayesianas para apoyo al diagnóstico de la Tetralogía de Fallot en el Perú. *Rev. la Fac. Ing. Ind.*, 18, 135–148, 2015.
- [31]. Hempelmann C.F., Sakoglu U., Gurupur V.P., Jampana S. An entropy-based evaluation method for knowledge bases of medical information systems. *Expert Syst. Appl.*, 46, 262–273, 2016.
- [32]. Fernández V., Rojas A., Ramos E., Núñez H., Castro M., Cressa C. Método Commonkads para el Desarrollo de un Sistema Experto en Ambiente Web para la Identificación de Especies de Insectos Acuáticos. *ResearchGate*, 18, 73–78, 2006.
- [33]. Gatica D., Puppo H., Villarroel G., Martín I. S., Lagos R., Lara C., Zenteno D. Reference values for the 6-minutes walking test in healthy Chilean children. *med. Chile*, 140(8), 2012.
- [34]. Pareja L. La frecuencia cardiaca de reserva, como indicador de carga interna. *Educ. física y Deport. Univ. Antioquia*, 20(1), 2013.
- [35]. Reyes A. Exercise, Health and Assumptions in Calculating the Estimated Maximum Heart Rate. *Electrónica Educ.*, 15(1), 79–90, 2011.
- [36]. Karvonen M., *The effects of training on heart rate. A longitudinal study*. 1957.
- [37]. Barbado Villalba C. *Manual del Ciclo Indoor Avanzado*. Ed. Paidotribo, 2007.
- [38]. Tanaka H., Monahan K.D., Seals D.R. Age-Predicted Maximal Heart Rate. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 37, 1, 2001.
- [39]. Andrade F., Sérgio B. Validez de las ecuaciones predictivas de la frecuencia cardíaca máxima para niños y adolescentes. *Arq. Bras. Cardiol.*, 97(2), 2011.
- [40]. Engels H. J., Zhu W., Moffatt R.J. An empirical evaluation of the prediction of maximal heart rate. *Research Q. Exerc. Sport*, 69(1), 94–98, 1998.
- [41]. Whaley M., Kaminsky L., Dwyer G., Getchell L., Norton J. Predictors of over-and underachievement of age-predicted maximal heart rate. *Med Sci Sport. Exerc.*, 24(10), 1173–1179, 1992.
- [42]. Heyward V., Gibson A. *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*. 2014.
- [43]. Burkhalter N. *Evaluación de la escala borg de esfuerzo percibido aplicada a la rehabilitación cardiaca*. 1996.
- [44]. Williams M. H. *Nutrición para la salud la condición física y el deporte*. Barcelona. 2002.
- [45]. Álvarez C., Olivo J., Robinson O., Quintero J., Carrasco V., Ramírez R., Andrade D., Martínez C. Efectos de una sesión de ejercicio aeróbico en la presión arterial de niños, adolescentes y adultos sanos. *Rev. Med. Chil.*, 141(11), 2013.
- [46]. Moros T., Ruidiaz M., Caballero A., Serrano E., Martínez V., Tres A. Effects of an exercise training program on the quality of life

- of women with breast cancer on chemotherapy. *Rev. Med. Chil.*, 138(6), 2010.
- [47]. Alemán J.A., Baranda Andujar P.S. de, Ortín Ortín E.J. Guía para la prescripción de ejercicio físico en pacientes con riesgo cardiovascular. SEH - LELHA, Madrid, p. 19, 2013.
- [48]. Nazário P., Bündchen D., Cleusa Richter, Dipp T., Bastos D., Reis A., Barbosa L., Cunha A., Goulart E., Facchini T. Curva Dosis-Respuesta del Ejercicio en Hipertensos: Análisis del Número de Sesiones para Efecto Hipotensor. *Inst. Cardiol. Cruz Alta*, 92(5), 387–184, 2008.
- [49]. Marín K., Laude R., Morales C. Entrenamiento físico y educación como parte de la rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC. *Rev. Chil. enfermedades Respir.*, 24(4), 286–290, 2008.
- [50]. Marins J., Delgado M. Empleo de ecuaciones para predecir la frecuencia cardiaca máxima en carrera para jóvenes deportistas. *Arch. Med. del Deport.*, 24(118), 120–120, 2007.