

Modelos teóricos de la causalidad de los trastornos musculoesqueléticos

Theoretical models of musculoskeletal disorders causation

Mervyn Márquez Gómez

Palabras clave: trastornos musculoesqueléticos, etiología, teorías, trabajadores

Key words: musculoskeletal disorders, etiology, theories, workers

RESUMEN

Los trastornos musculoesqueléticos constituyen un problema de salud ocupacional que afecta tanto a trabajadores como a empleadores, ocasionando molestias, dolor, reducción de la productividad y hasta discapacidad. El proceso de cómo se producen los trastornos musculoesqueléticos, sus causas y alcance representa un tema ampliamente investigado y discutido. El objetivo del trabajo es realizar una revisión de la literatura respecto a los modelos teóricos propuestos en torno a la causalidad de estos trastornos. Para ello se llevó a cabo una investigación documental, la cual permitió describir cada uno de estos modelos e indagar sobre sus similitudes y diferencias. Los modelos fueron clasificados de acuerdo a su orientación predominante, en primer lugar aquellos con un enfoque biomecánico, en segundo lugar los que se enfocan en factores psicosociales y el estrés, en tercer lugar los que consideran un enfoque multifactorial, y finalmente aquellos basados en una perspectiva sistémica. Si bien, el desarrollo de estos modelos ha permitido avanzar en la explicación etiológica de los trastornos musculoesqueléticos, aún quedan aspectos importantes

por explicar, en especial lo relacionado a la interacción y cuantificación de los factores de riesgo.

ABSTRACT

Musculoskeletal disorders are an occupational health problem that affects both workers and employers, causing discomfort, pain, decreased productivity and disability. The causation and extent of the musculoskeletal disorders is a very researched and discussed issue. The purpose of the study is to provide a review of the theoretical models proposed about the disorders causation. A documental research was conducted to describe these models and their similarities and differences. The models were classified according to their predominant perspective. First, all those with a biomechanics approach; secondly, those who focus on psychosocial factors and stress; thirdly, those to consider a multifactorial approach; and finally those based on a systemic perspective. Though the development of these models has enabled progress in the etiological explanation of musculoskeletal disorders, important aspects were not specified, especially those related to the interaction and quantification of risk factors.

INTRODUCCIÓN

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) son enfermedades caracterizadas por una condición anormal de huesos, músculos, tendones, nervios, articulaciones o ligamentos que trae como consecuencia una alteración de la función motora o sensitiva. Estas patologías surgen cuando se sobre exige una determinada estructura y se excede el período de recuperación viscoelástico necesario de los tejidos demandados (López y Cuevas, 2008); lo que

generalmente es causado por un esfuerzo mecánico excesivo de estas estructuras biológicas, en otras palabras, cuando se experimenta fuerzas directas o de torsión muy intensas (Organización Mundial de la Salud, 2004). Como consecuencia, los TME pueden generar una gran cantidad de dolor y sufrimiento en los trabajadores afectados, disminuir la productividad y calidad de su trabajo, y en algunos casos hasta ocasionar discapacidad (Almagro et al, 2009;

Chandna, Deswal y Pal, 2010). Dependiendo del evento que lo causa, pueden distinguirse dos categorías de TME: los causados por traumas agudos, como resbalones o caídas, y los causados por exposición repetida a un tipo de actividad física, llamados también desórdenes traumáticos acumulativos (Attwood, Deeb y Danz, 2004). El término acumulativo es indicativo de que esas lesiones se desarrollan gradualmente sobre períodos de semanas, meses o inclusive años como resultado de estrés repetido sobre una parte del cuerpo particular (Putz, 1988). Por otro lado, cuando los TME son causados, agravados o acelerados por las condiciones laborales o por la realización de la tarea, suele hacerse la acotación de que se trata de “TME relacionados al trabajo”, para diferenciarlos de aquellos con una vinculación distinta (Chandna et al, 2010).

En la literatura es posible encontrar diversos términos para referirse a los TME, entre ellos se encuentran: desorden traumático acumulativo, lesión por esfuerzo repetitivo, síndrome por sobreuso, y problemas musculoesqueléticos. La Organización Internacional del Trabajo, en la clasificación de enfermedades profesionales, las denomina enfermedades del sistema osteomuscular (OIT, 2010); mientras que el

Ministerio del Poder Popular para el Trabajo y Seguridad Social en Venezuela (2008) emplea el término de trastornos musculoesqueléticos. A los fines del presente manuscrito no se realizará ninguna diferenciación entre estos términos, aunque el principal interés viene dado por los TME relacionados al trabajo, ocasionados de forma acumulativa.

Un conjunto de modelos teóricos han sido desarrollados por distintos investigadores con el propósito de dar una explicación al fenómeno de aparición de TME relacionados al trabajo, se han descrito e incorporado variables y dimensiones del fenómeno, se han planteado diversos mecanismos de generación, se han analizado distintos factores de riesgo y sus interrelaciones, e inclusive se han definido y agregado conceptos que tratan de explicar el por qué este tipo de enfermedad ocupacional continua afectando a una gran cantidad de trabajadores en el mundo. Todo este discernimiento e innovación ha permitido una evolución de los constructos que giran en torno a los TME, ofreciendo un mejor basamento para las intervenciones ergonómicas. En el actual trabajo se presentan un cúmulo de estas teorías, clasificadas de acuerdo al enfoque general o énfasis que guía al modelo.

MODELOS TEÓRICOS DE LOS TME

Enfoque en factores biomecánicos

Durante la década de los noventa surgieron algunas teorías que intentaron explicar el mecanismo de generación de los TME, con un enfoque hacia los factores físicos o biomecánicos; así aparecieron modelos como los de Armstrong et al (1993), Westgaard y Winkel (1996), y Van der Beek y Frigs-Dresen (1998), que se detallan a continuación.

Modelo de dosis-respuesta de Armstrong et al.

El modelo de Armstrong et al (1993) sobre la patogénesis de los desórdenes musculoesqueléticos relacionados al trabajo resalta su naturaleza multifactorial y plantea la compleja naturaleza de las interacciones entre las variables: exposición, dosis, capacidad y respuesta, a manera de cascada, tal que la respuesta a un nivel puede actuar como una dosis en el siguiente nivel; además, la respuesta a una o más dosis puede disminuir (deterioro) o aumentar (adaptación) la capacidad de respuesta a dosis

sucesivas (Ver Figura 1). De esta forma, el objetivo último del modelo es especificar los límites aceptables de diseño del trabajo para un individuo determinado. La exposición se refiere a los factores externos, tales como los requerimientos del trabajo, que producen la dosis interna, tal como la carga sobre los tejidos y las demandas metabólicas; por ejemplo, la geometría del lugar de trabajo y la forma de las herramientas son determinantes importantes de la postura. La dosis, por lo tanto, se refiere a aquellos factores que de alguna manera alteran el estado interno del individuo, bien sea mecánico, fisiológico o psicológico. Por su parte, la respuesta incluye los cambios que ocurren en el estado de las variables del individuo, los cuales pueden convertirse en una nueva dosis, que luego produce otra respuesta; por ejemplo, un esfuerzo de la mano puede causar cambios en la forma del tejido, el cual a su vez puede ocasionar molestias. Finalmente, la capacidad (física o

psicológica) se refiere a la habilidad del individuo para resistir la desestabilización debido a diferentes dosis.

Armstrong et al (1993) explican que los estudios epidemiológicos entre poblaciones de trabajo usualmente se enfocan en las asociaciones entre la parte alta y baja de la cascada. Por un lado, la carga física de trabajo, las demandas psicológicas y los factores de riesgo ambientales, y por otro, las

manifestaciones de los síntomas, las enfermedades y las discapacidades, pero no se identifican las respuestas intermedias que permitirán evaluar los factores de exposición con un mínimo de riesgo para el sujeto. No obstante, los autores también señalan que en el modelo aún necesitan describirse las relaciones cuantitativas entre las exposiciones psicosociales, los factores psicológicos y las respuestas del tejido.

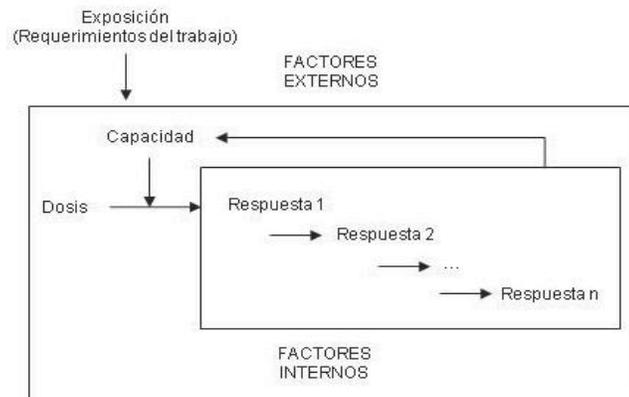


Figura 1. Modelo de Armstrong et al (1993)

Modelo de la carga de trabajo física de Westgaard y Winkel.

El modelo presentado por Westgaard y Winkel (1996) muestra la relación entre exposición mecánica y los efectos sobre la salud; considerando exposición mecánica como los factores relativos a las fuerzas biomecánicas generadas en el cuerpo. En este sentido, los autores distinguen dos niveles de exposición: externa e interna; la exposición externa referida a los factores que pueden producir fuerzas biomecánicas cuantificadas independientemente del trabajador, cuyas variables se utilizan generalmente en las directrices de diseño; mientras que la exposición interna está representada por las fuerzas biomecánicas resultantes de la demanda laboral, estimadas por mediciones sobre el trabajador, cuyas variables son útiles en las directrices sobre los métodos de trabajo, para evaluar la carga física en cada individuo.

Según el modelo (Ver Figura 2), la exposición interna genera respuestas fisiológicas y psicológicas que abarcan una amplia variedad de efectos a nivel de sistema, órganos, células y moléculas, las cuales pueden desarrollar fatiga, malestar o dolor en el corto plazo, o efectos sobre la salud en el largo plazo. A su vez, esta interrelación de eventos es influenciado por

efectos modificadores relacionados con el medio ambiente y factores individuales del trabajador, tales como: edad, género, personalidad o aptitud física.

A pesar de que Westgaard y Winkel incluye los factores individuales, el énfasis del modelo radica en la relación entre la carga de trabajo física, especificada como demandas del trabajo independiente del sujeto y los efectos sobre la salud musculoesquelética, considerando en el intermedio de esta relación, las fuerzas biomecánicas generadas para satisfacer estas demandas y las respuestas fisiológicas y psicológicas a corto plazo.

Los autores explican que no todos los parámetros fisiológicos se comportan igual luego de una contracción fatigante, en cuanto al tiempo de recuperación; los electrolitos y la frecuencia de ATP (adenosin trifosfato) y EMG (amplitud de la señal mioeléctrica) se recuperan en segundos, mientras que otras variables como el glucógeno muscular, la fatiga de baja frecuencia y la fuerza en la estimulación eléctrica pueden no recuperarse hasta el día siguiente. Señalan además que aun cuando existen directrices científicamente fundamentadas con relación a estas variables, se desconoce si son relevantes en términos de prevención de TME.

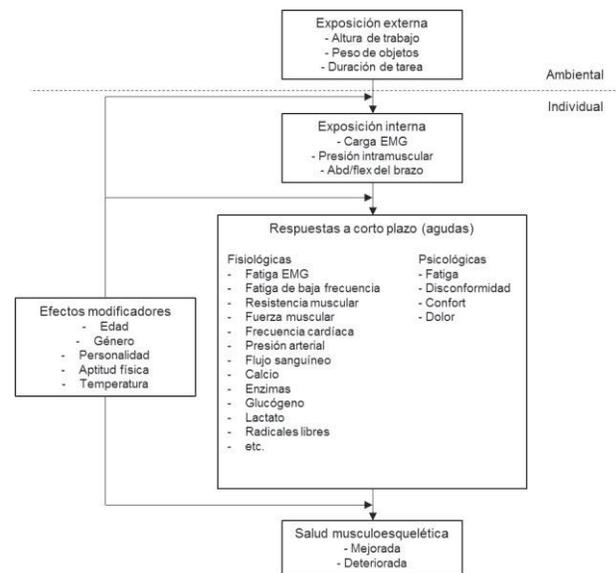


Figura 2. Modelo de Westgaard y Winkel (1996)

Modelo de la carga de trabajo de Van der Beek y Frigs-Dresen.

El modelo general planteado se basa en los trabajos previos de Van Dijk et al (citado en Van der Beek y Frigs-Dresen, 1998) y Westgaard y Winkel (1996), por lo que pudiera decirse que el modelo es una adaptación de aquellos. El modelo describe cómo las condiciones de trabajo generan respuestas y efectos sobre la salud. Al respecto, la situación laboral se caracteriza por las demandas de trabajo y la libertad de decisión; la libertad de decisión se refiere al grado de autonomía y oportunidades que tiene el trabajador para mejorar (o empeorar) las condiciones laborales mediante la alteración de las demandas de trabajo. Esta posibilidad conduce a un método de trabajo real, condicionado por las características antropométricas de la persona, que lo obliga a adoptar posturas, realizar movimientos y ejercer fuerzas. La situación de trabajo, el método empleado y la tríada de posturas, movimientos y fuerzas, constituyen la exposición externa (Ver Figura 3).

Por su parte, la exposición interna planteada se refiere a los momentos y fuerzas correspondientes dentro del cuerpo humano. Las estructuras pasivas del aparato locomotor están expuestas a fuerzas internas a lo largo, y momentos alrededor de cada uno de los tres ejes principales, mientras que en las estructuras activas, son generados patrones de reclutamiento de músculos para contrarrestar momentos netos sobre segmentos de movimiento causados por la gravedad,

otras fuerzas externas y fuerzas inerciales. La exposición interna, condicionada por las características físicas, cognitivas y emocionales (capacidad de trabajo) deriva en efectos a corto plazo sobre el sistema (respuestas agudas) a nivel de tejido, celular y molecular. En otras palabras, la actividad muscular provoca mayor circulación, fatiga muscular local y diversas respuestas fisiológicas. Estos efectos a corto plazo representan la carga de trabajo durante la jornada laboral e inclusive algunas horas posteriores; los cuales, si no se tiene la recuperación suficiente, pueden convertirse en efectos más permanentes.

Si, bien estos autores plantean el carácter multifactorial de los TME, su trabajo se enfoca sólo a la evaluación de la exposición física del trabajo, dejándose de lado los factores psicosociales e individuales.

La contribución de los factores psicosociales

Las investigaciones sobre las causas de los TME se han centrado fundamentalmente en los factores biomecánicos (fuerza excesiva, alta repetición, posturas incómodas, y uso frecuente de herramientas de vibración); sin embargo, hay una creciente evidencia de que los aspectos psicosociales de la organización (alta carga de trabajo, presión de tiempo y monotonía, baja claridad, autonomía, apoyo social e incertidumbre sobre el futuro del trabajo) también contribuyen a desarrollar TME relacionados al trabajo.

En este sentido, a continuación se presentan los modelos Schleifer et al (2002) y Golubovich et al (2014), los cuales se han planteado, no tanto para explicar la generación de los TME propiamente dicha,

sino más bien para explicar la contribución de los factores psicosociales sobre la aparición de la enfermedad.

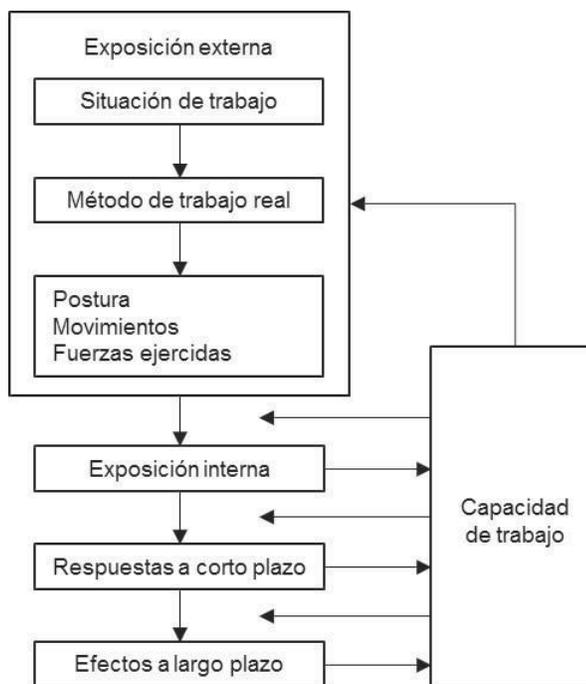


Figura 3. Modelo de Van der Beek y Frigs-Dresen (1998)

Teoría de hiperventilación del estrés en el trabajo y los TME de Schleifer et al.

La teoría de la hiperventilación surge por el intento de los autores de explicar cómo los factores psicosociales en el trabajo aumentan el riesgo de desarrollar TME. Parten de la premisa de que las condiciones estresantes cotidianas que generan excitación emocional, generan cambios en los patrones de respiración; el modo de respiración cambia de respiración diafragmática o abdominal a respiración torácica, y produce hiperventilación. Por lo tanto, la hiperventilación se refiere a la respiración que excede los requerimientos metabólicos de oxígeno, independientemente de si la tasa de respiración es rápida o lenta. No debe confundirse hiperventilación con hiperpnea (respiración voluminosa) o con taquipnea (respiración rápida o

jadeo), que se producen en respuesta a la creciente demanda metabólica.

Al producirse hiperventilación, la caída resultante de ácido carbónico en la sangre produce alcalosis respiratoria; lo que a su vez desencadena en una serie de reacciones fisiológicas sistémicas que tienen implicaciones adversas para la salud del tejido muscular, como se presenta en la Figura 4. Otro efecto inmediato es la vasoconstricción de las extremidades, lo que reduce el flujo sanguíneo y aumenta las posibilidades de daño tisular debido a una disminución en la oxigenación del tejido muscular y una acumulación de metabolitos como consecuencia del trabajo constante y repetitivo; paradójicamente, esta reducción de oxígeno en el tejido muscular y el flujo sanguíneo se presenta cuando más se necesita, lo que contribuye al desarrollo de TME (Schleifer et al, 2002).

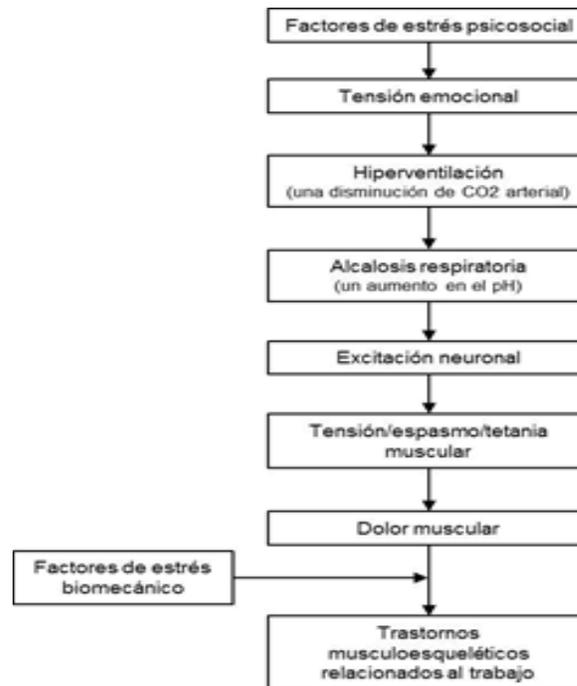


Figura 4. Teoría de hiperventilación de Schleifer et al (2002)

Modelo de la relación estrés – TME de Golubovich et al.

El planteamiento realizado por Golubovich et al (2014), forma parte de aquellos que buscan explicar la contribución de ciertos factores al desarrollo de los TME; ellos proveen un modelo en el que se explican los mecanismos que vinculan a estresores psicosociales con el surgimiento de TME relacionados con el trabajo.

Se propone que cuando los trabajadores perciben un clima de seguridad psicológico pobre, tales percepciones pueden funcionar como un estresor psicosocial y provocan frustración; a su vez, la frustración puede estar asociada con un incremento de TME. Además, analizaron la resistencia psicológica, una variable individual que caracteriza como los empleados manejan situaciones estresantes (Ver Figura 5).

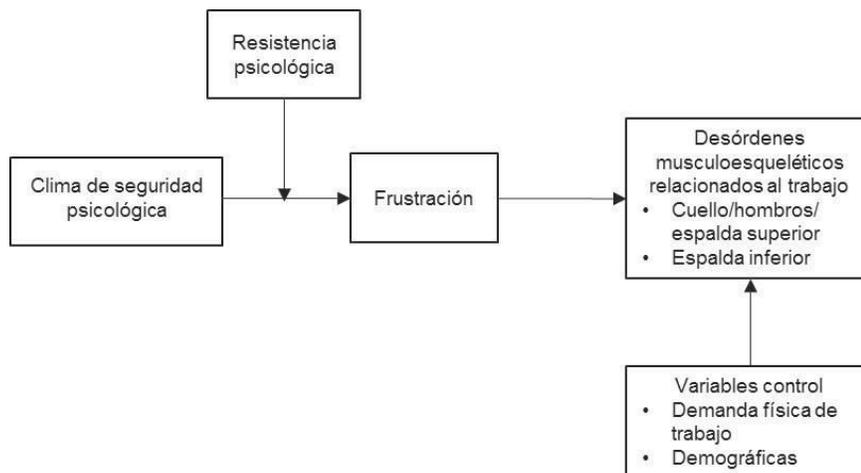


Figura 5. Modelo esquemático de las relaciones de estrés-tensión-quejas musculoesqueléticas de Golubovich et al (2014)

Etiología multifactorial

A pesar de que en los modelos anteriores se acepta que los TME tienen su origen en una diversidad de variables, el énfasis dado por los autores se dirige bien a la vinculación entre la exposición externa e interna (factores biomecánicos), o bien hacia los factores psicosociales, obviándose las relaciones que puedan existir entre unos y otros. Sin embargo, a partir de las propuestas planteadas por Bongers et al (1993), Sauter y Swanson (1996), Feuerstein (1996), Kumar (2001), Faucett (2005) y las generadas por el Consejo Nacional para la Investigación (National Research Council, NRC) en conjunto con el Instituto de Medicina (Institute of Medicine, IOM), se amplía el espectro de los elementos causantes de los TME, dando paso a una explicación multifactorial. Estos

últimos organismos (el NRC y el IOM) forman parte de la Academia Nacional de Ciencias, la cual es una sociedad sin fines de lucro, con sede en Estados Unidos, que reúne un conjunto de distinguidos académicos dedicados a la investigación y promoción científica y de ingeniería.

Modelo de Bongers et al.

En los trabajos presentados por Bongers y sus colaboradores (Bongers et al, 1993; Bongers et al, 2002) se indica cómo los diferentes factores de riesgos psicosociales, individuales y físicos, pueden interactuar con relación al desarrollo de TME o la transición a más trastornos crónicos; sugiriéndose algunas vías potenciales, como se observa en la Figura 6.

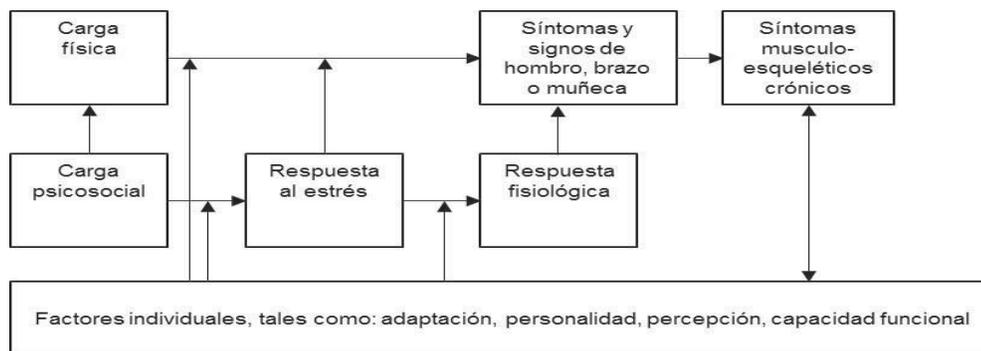


Figura 6. Modelo de Bongers et al (2002)

Al respecto se plantea que las características psicosociales del lugar de trabajo, tales como las demandas o la presión de tiempos, pueden tener un impacto directo sobre la velocidad y aceleración de movimientos, fuerza aplicada y posturas. Así mismo, las características psicológicas del lugar de trabajo pueden desencadenar algunas respuestas de estrés que pueden causar cambios fisiológicos y llevar a problemas musculoesqueléticos. Estas respuestas de estrés pueden llevar además a una apreciación diferente del lugar de trabajo y de los síntomas musculoesqueléticos, influyendo en la transición de un dolor musculoesquelético agudo a uno subagudo y crónico.

Se agrega además que la influencia directa de los factores organizacionales del trabajo sobre el movimiento, fuerza y postura puede tener un efecto diferente sobre sitios anatómicos diferentes; además, los mecanismos subyacentes y la interacción con

factores físicos pueden ser distintos igualmente dependiendo del sitio anatómico.

Modelo ecológico de TME de Sauter y Swanson

Un planteamiento teórico que sugiere múltiples vínculos causales entre factores psicosociales del trabajo y TME, caracteriza al modelo presentado por Sauter y Swanson (1996), quienes basaron sus investigaciones en tareas de oficina que involucran pantallas de visualización. El modelo contribuye a explicar la etiología de síntomas y trastornos en extremidades superiores relacionados al trabajo.

El modelo tiene tres componentes principales: biomecánico, psicosocial/estrés y cognitivo. El componente biomecánico se refiere a las exigencias físicas que conducen a tensión biomecánica, y se presenta como el principal mecanismo por el cual ocurren los TME. El componente psicosocial-organización del trabajo-estrés implica la interacción de los factores de organización del trabajo con

factores individuales y es la principal fuente de tensión psicológica; la cual puede posteriormente impactar la tensión biomecánica. Finalmente, respecto al componente cognitivo, según la teoría de la atribución y proposiciones relacionadas en psicología social, los individuos se tornan psicológicamente

incómodos cuando no pueden explicar sensaciones corporales, en cuyo caso, los factores contextuales juegan un papel importante en la detección, etiquetado y atribución de la fuente de esas sensaciones (Ver Figura 7).

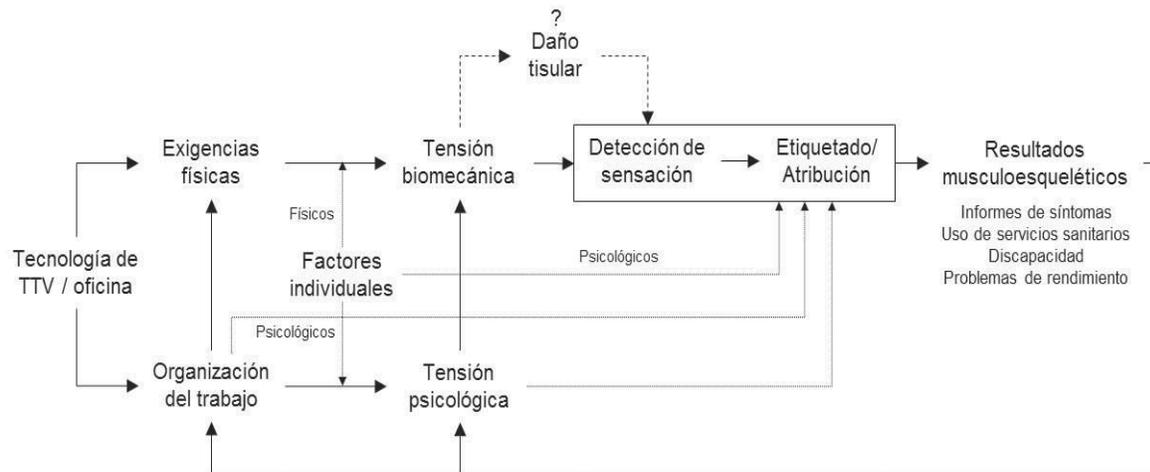


Figura 7. Modelo ecológico de TME de Sauter y Swanson (1996)

La organización del trabajo también puede afectar las exigencias físicas que un trabajador experimenta, al influir directamente en los métodos utilizados, y por ende aumentar el riesgo ergonómico; de esta forma, la organización del trabajo desempeña un papel indirecto en el mecanismo causante de TME. En otras palabras, la organización del trabajo, la tensión psicológica y los factores individuales juegan un papel moderador dentro del modelo. Otra innovación del modelo es la propuesta de que el daño en los tejidos no es una condición necesaria para el desarrollo de los síntomas (Huang et al, 2002; Karsh, 2006).

Modelo del estilo de trabajo de Feuerstein

El modelo multidimensional presentado por Feuerstein (1996) incluye el concepto de “estilo del trabajo”, con el cual busca explicar por qué trabajadores expuestos a idénticas tareas, varían en el desarrollo y exacerbación de síntomas en extremidades superiores. El concepto de “estilo de trabajo” ha sido definido por el autor como un patrón individual de cogniciones, conductas y reactividad fisiológica que tienen lugar mientras se realizan las tareas de trabajo, tal como se detalla en la Figura 8.

Un estilo de trabajo adverso, asociado con una alta ocurrencia de síntomas musculoesqueléticos, puede ser evocado por una alta demanda del trabajo (percibida o comunicada directamente por el supervisor), autogenerada por una alta necesidad de logro y aceptación, aumento del miedo de perder el trabajo o evitar una consecuencia negativa de un entrenamiento inadecuado, falta de conciencia de que un estilo característico puede ser potencialmente de alto riesgo, y/o autogenerado por presión del tiempo. En otras palabras, un estilo de trabajo involucra reacciones cognitivas y conductuales, que puede desencadenar en cambios fisiológicos, que si se evocan repetidamente, pueden contribuir al desarrollo, exacerbación y/o mantenimiento de TME. El modelo además incorpora estresores psicosociales, demandas del trabajo y estresores ergonómicos, los cuales pueden desencadenar en un estilo de trabajo de alto riesgo, que a su vez, pueden conducir a una cadena de riesgos musculoesqueléticos: síntomas, trastornos y discapacidad. Este modelo genera opciones para intervenciones dirigidas tanto a nivel individual como organizacional (Huang et al, 2002).

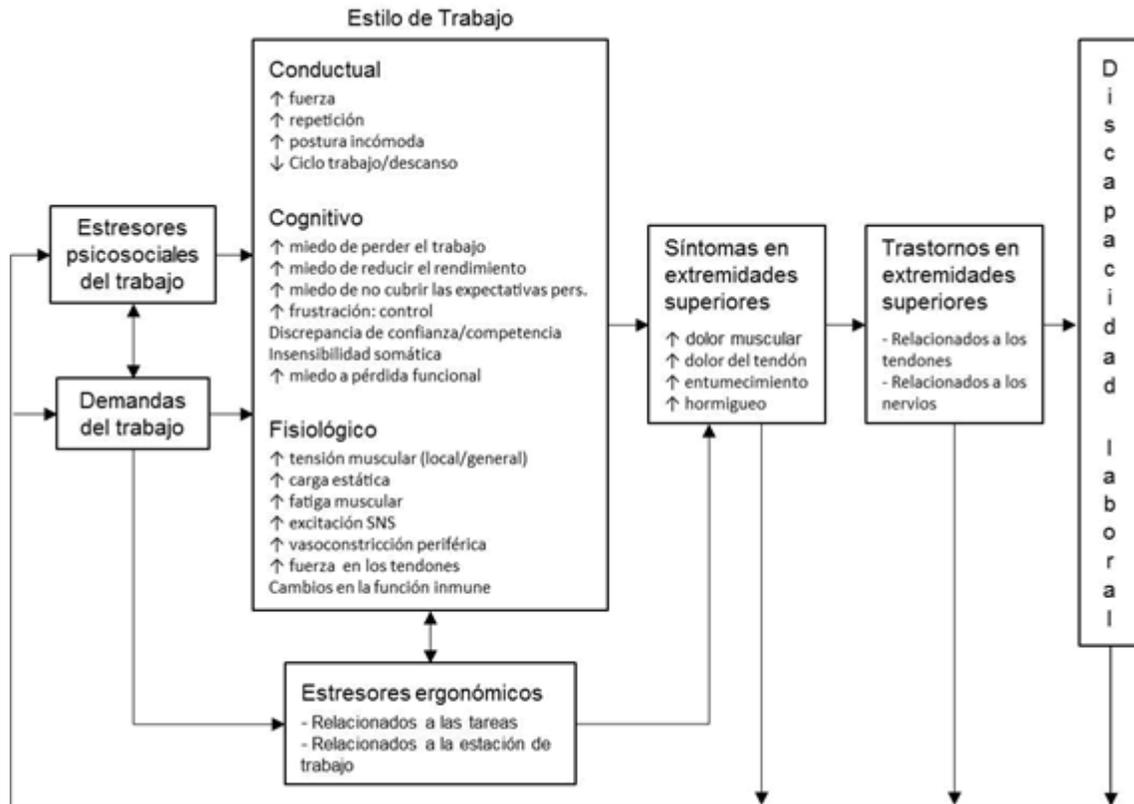


Figura 8. Modelo del estilo de trabajo de Feuerstein (1996)

Teoría de interacción multivariada de Kumar.

Dentro de los modelos teóricos que explican la generación de los TME se encuentra la teoría de interacción multivariada propuesta por Kumar (2001), la cual plantea que el problema del sistema musculoesquelético de la persona es de origen multifactorial, y que el mismo se ve afectado por factores genéticos, morfológicos, psicosociales (característicos de la persona) y biomecánicos (relacionados con la demanda del trabajo), aunque se presupone que las lesiones musculoesqueléticas ocupacionales son biomecánicas por naturaleza.

De esta forma, en la medida que el esfuerzo sobre el sistema musculoesquelético supere sus capacidades funcionales y estructurales, existe la probabilidad de que se genere fatiga (alteración funcional) o una lesión (alternación estructural). Agrega el autor que dentro de cada una de esas categorías existen muchas variables que potencian y pueden precipitar una lesión musculoesquelética, por lo que su permutación y combinación es extensa; de esta forma, hay muchas maneras en que puede desencadenarse la lesión. Sin

embargo, la interacción entre las ponderaciones relativas de las variables y la medida en que ellas se han acentuado en un individuo dado, determina el resultado final (Ver Figura 9). Además de la teoría de interacción multivariada, este autor planteó la teoría diferencial de la fatiga, la teoría de la carga acumulada y la teoría del sobre ejercicio. La teoría diferencial de la fatiga considera actividades ocupacionales desbalanceadas y asimétricas, creando fatiga diferencial y de este modo un desequilibrio cinético y cinemático. La teoría de la carga acumulada parte del hecho de que los tejidos biológicos, como los demás materiales físicos, tienen una vida finita y están sujetos a desgaste, producto de la carga y la repetición, más allá de lo cual precipita la lesión; si bien los tejidos biológicos son visco elásticos, su carga prolongada puede provocar deformaciones permanentes. Finalmente, la teoría del sobre esfuerzo plantea que el esfuerzo excesivo, por encima del límite de tolerancia del sistema o componentes del sistema, precipita la lesión musculoesquelética ocupacional; cada actividad física requiere generación

o aplicación de fuerza de una posición (postura) a otra (movimiento) durante un cierto periodo de tiempo (duración), por lo que sobreesfuerzo por definición será función de la fuerza, duración, postura y movimiento. El autor agrega que si bien estas

teorías buscan explicar el mecanismo de precipitación de lesiones, todas ellas operan simultáneamente e interactúan para modular las lesiones en diversos grados en diferentes casos.

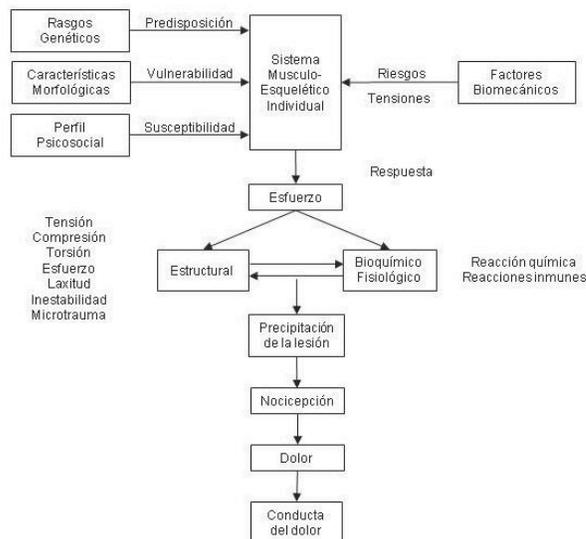


Figura 9. Teoría de interacción multivariada de Kumar (2001)

Modelo del Consejo Nacional para la Investigación y el Instituto de Medicina.

El modelo conceptual planteado por el Consejo Nacional para la Investigación y el Instituto de Medicina, en el marco del Panel sobre TME y el lugar de trabajo celebrado en el año 2001, muestra los posibles roles e influencias que varios factores pueden desempeñar en el desarrollo de TME (Ver Figura 10). El recuadro punteado de la derecha indica las posibles vías y procesos que podrían ocurrir dentro de la persona, incluyendo la relación carga biomecánica – tolerancia y los factores que pueden mediar esta relación, como son la adaptación y los factores individuales. El recuadro punteado de la izquierda señala las posibles influencias del lugar de trabajo sobre la secuencia de eventos que pueden conducir a TME en la persona. Las flechas entre ambos recuadros indican las diversas disciplinas de investigación que han intentado explicar las relaciones, como por ejemplo la epidemiología, la biomecánica y la fisiología. Por ejemplo, la epidemiología busca típicamente las asociaciones entre las características de la carga externa y los resultados reportados, mientras que las relaciones

entre carga externa y carga biomecánica es usualmente explorada por los estudios biomecánicos (National Academy of Sciences, 2001).

Los factores individuales mencionados están representados por aspectos psicológicos y fisiológicos como la edad, sexo, hábitos de fumar, predisposiciones determinadas quizás genéticamente y la participación en actividades físicas fuera del lugar de trabajo (ejercicio físico, tareas domésticas, etc.). Dentro de los factores biomecánicos relevantes se mencionan los movimientos, los esfuerzos y la postura del cuerpo; la carga biomecánica también es afectada por factores individuales como la antropometría, la fuerza, la agilidad, la destreza y otros factores que median la transmisión de cargas externas a las cargas internas sobre estructuras anatómicas.

Por su parte, los factores organizacionales influyen las cargas externas en términos de la organización de las tareas, ritmo de trabajo, características de las relaciones interpersonales y la utilización de principios ergonómicos para modificar las tareas y así no exceder la capacidad física del trabajador. Los factores del contexto social pueden influir tanto en los

procedimientos organizacionales como en las expectativas y motivaciones del trabajador. Los impactos de los factores organizacionales y sociales

sobre el individuo son mediados a través de mecanismos individuales cognitivos y perceptuales.

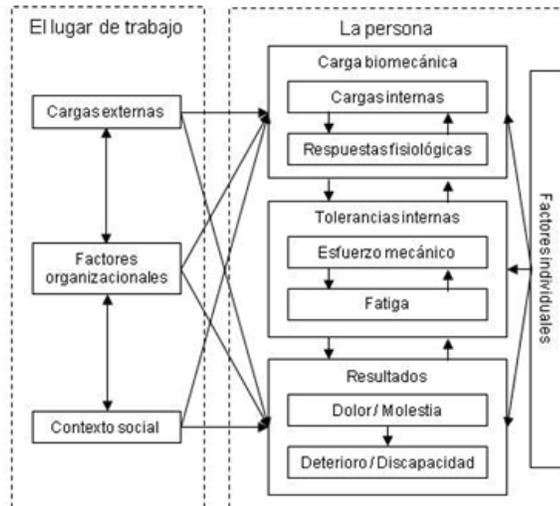


Figura 10. Modelo conceptual del NRC y el IOM (2001)

Modelo integrado de Faucett

El modelo teórico de la causalidad de los TME de origen laboral propuesto por Faucett (2005) integra factores de riesgo psicosociales y biomecánicos, y destaca el rol de los sistemas de gestión y el ambiente de trabajo como principales fuentes de tensión. Esta tensión, de acuerdo a lo indicado por las respuestas fisiológicas, conductuales y otras, del trabajador, influye a su vez en el desarrollo de TME, así como en su desempeño y productividad, tal como se aprecia en la Figura 11. Este modelo integrado considera además la importancia de visualizar el ambiente laboral como un fenómeno dinámico con interacción entre factores de riesgo y entre trabajadores y gerentes.

Los sistemas de gestión se componen de los principios, políticas y métodos que guían a la organización, cuya principal meta es, con frecuencia, mejorar su rentabilidad. Al respecto, los gerentes pueden intentar mejorar el rendimiento del trabajador, por ejemplo a través de mejorar el bienestar de los trabajadores, su motivación o competencia. El modelo integrado incluye seis sistemas de gestión: cultura (valores, metas y visión o misión), recursos (adquisición y distribución), personal (reclutamiento, recompensas, formación y desarrollo y disposiciones para la salud, seguridad y bienestar), toma de decisiones (estructura y procesos),

comunicaciones (gestión de datos, flujo de información y control de retroalimentación y respuesta) y operaciones (diseño, coordinación y estandarización de procesos y procedimientos de trabajo, programación y mantenimiento de instalaciones y activos físicos).

Adicionalmente, el autor identifica cuatro perspectivas del ambiente de trabajo: características funcionales que involucra el diseño de las tareas, el personal y las comunicaciones; características temporales que involucran el ritmo general del trabajo, la programación y duración de descansos y turnos, los sistemas de incentivos y el acceso a los recursos; características físicas referidas al puesto de trabajo, las herramientas, la tecnología, la estética y al ambiente de calor, ruido y otros peligros; y finalmente las características interpersonales relacionadas a la interacción social, los métodos de supervisión, el trabajo en equipo, el clima de seguridad y los factores que contribuyen a la retención y desarrollo de carrera del trabajador.

Sin embargo, una consecuencia no deseada del diseño de sistemas de trabajo puede ser su impacto sobre el desarrollo de TME, por lo que el modelo permite pensar en cómo estos factores emergen desde las actividades de gestión y luego afectan la tensión de trabajo y los TME; en otras palabras, el modelo supone que los resultados no se pueden controlar sin

considerar holísticamente el contexto de la organización en la que se ejecuta la tarea. Por lo tanto, el ambiente laboral tiene impacto directo sobre el

rendimiento del trabajador, su productividad y los TME, e impacto indirecto a través de las percepciones, la tensión y recuperación de la persona.

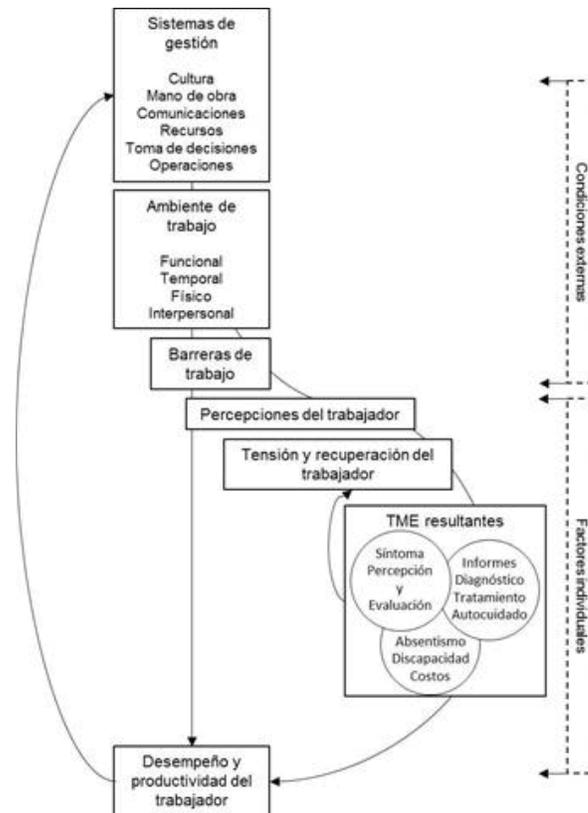


Figura 11. Modelo integrado de Faucett (2005)

Enfoque sistémico

Una nueva visión en las teorías que explican el origen de los TME surge cuando se incorpora la perspectiva sistémica, y se amplía el radio de acción del problema, incrementándose a su vez la cantidad de variables a considerar; es así como surgen los planteamientos de Shoaf et al (2000), Moray (2000) y de Tappin, Bentley y Vitalis (2008), los cuales se presentan a continuación.

Modelo de control adaptativo de Shoaf et al.

El estudio presentado por Shoaf et al (2000) explica el desarrollo de un modelo de sistema de trabajo comprensivo, justificado por la necesidad de evaluar los efectos integrales de todos los elementos del sistema. El sistema de trabajo descrito en el estudio se compone, en general, de tres elementos principales: las demandas, el trabajador y los resultados.

Las demandas abarcan tanto el contenido del trabajo (demanda física y mental) como el contexto en que se desarrolla (ambiente físico, social, de crecimiento individual y organizacional). El trabajador representa al individuo desempeñando la tarea, con sus características personales asociadas, habilidades, capacidades y necesidades, a partir de las cuales las demandas de trabajo son procesadas en un nivel de esfuerzo (nivel de energía que el individuo gasta). El resultado o salida del modelo se refiere al rendimiento resultante del esfuerzo del individuo (riesgo percibido y el riesgo real en el sistema). El modelo propuesto para la evaluación de riesgos y peligros de TME representa un sistema de control adaptativo complejo; ya que a pesar de que se representan los principales componentes que describen las relaciones del sistema de trabajo, los innumerables factores que caracterizan a las

demandas y al trabajador, demuestran la complejidad del sistema; sin embargo, numerosas variables y relaciones pueden ser manipuladas para variar el esfuerzo y el riesgo resultante. Además, el sistema de trabajo es adaptativo y los participantes se ajustan con base en cambios en las demandas, así como en el esfuerzo ejercido, la percepción del riesgo y el conocimiento del riesgo.

Tres tipos de operadores están representados en el modelo (Ver Figura 12): procesadores, controladores

y comparadores. La función de los procesadores es producir el parámetro de salida dado, es decir, las actividades que transforman la entrada en salida; los controladores representan las actividades que sirven para determinar la desviación de la salida real respecto al objetivo y ajustar los parámetros del sistema; y los comparadores (círculo con x) detectan el error entre la entrada y la variable que está siendo retroalimentada.

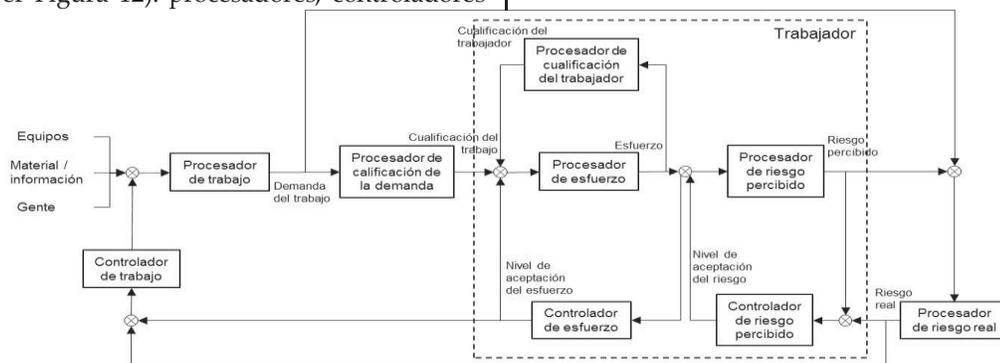


Figura 12. Modelo cibernético del sistema de trabajo de Shoaf et al (2000)

Modelo de sistemas en ergonomía de Moray.

El modelo planteado por Moray (2000) se fundamenta en la concepción sistémica de la ergonomía, con una orientación participativa, que involucra a los actores clave, tal como se aprecia en la Figura 13. De esta manera, una alta prevalencia de TME es un síntoma de falla en el sistema, por lo que los programas para la prevención de este tipo de patologías son incorporados dentro de un enfoque más amplio de ergonomía para la mejora continua de los sistemas de trabajo, diseño organizacional, uso de tecnología y el ambiente de trabajo. Tradicionalmente la ergonomía se ha ocupado de las capas más internas señaladas en el diagrama, y sólo hasta el advenimiento de la macroergonomía se han comenzado a examinar algunas de las capas externas pero de una forma irregular.

A pesar de que existen métodos para el análisis de cada uno de los componentes que conforman el sistema, tales como: la asignación de tareas, el diseño de equipos, las interacciones entre equipos y personas, y la organización y diseño del trabajo, su complejidad a primera vista, es intimidante.

El modelo de sistemas en ergonomía intenta reunir todos los componentes del sistema que deben ser considerados, conceptualizados en varios niveles, con

el propósito de su comprensión, interpretación, evaluación, recolección de información y diseño; este enfoque y comprensión es requerido para el éxito del análisis y diseño del sistema (Buckle, 2005).

La situación laboral se deriva de la organización del trabajo (factores de organización) y las percepciones o creencias de los trabajadores en cuanto a la forma en que este es organizado (factores psicosociales). Esto ha llevado a la evidencia científica que indica que la organización y los factores psicosociales del trabajo se asocian con el desarrollo de TME relacionados al trabajo. Los factores psicosociales también pueden influir en la carga biomecánica y las reacciones al estrés laboral. Por último, los factores psicológicos individuales se perfilan como factores adicionales que requieren mayor investigación.

Modelo de los factores contextuales de Tappin et al.

Al igual que el de Moray, el modelo conceptual planteado por Tappin et al (2008) se basa en el enfoque de sistemas, y pudiera decirse que representa una variante de aquel. En este modelo se han agregado flechas que indican la dirección de la influencia de los factores contextuales y su papel en el aumento de la exposición a factores de riesgo físicos y psicosociales (Ver Figura 14).

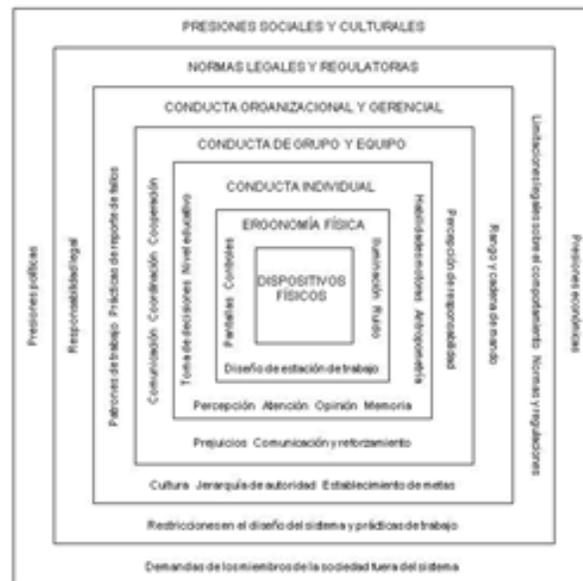


Figura 13. Modelo de sistemas en ergonomía de Moray (2000)

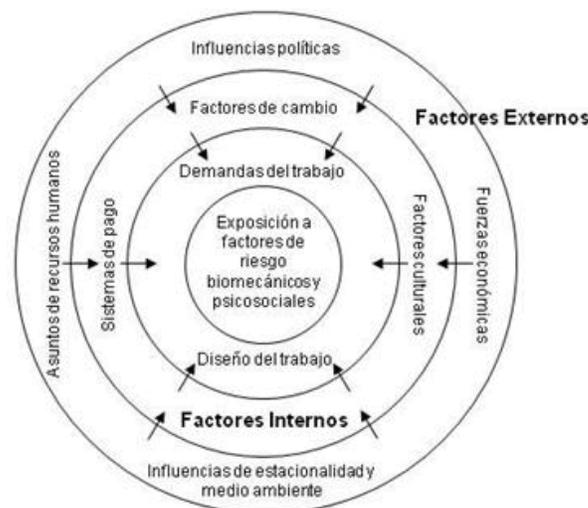


Figura 14. Modelo de los factores contextuales de Tappin et al (2008)

El modelo contempla nueve grupos de factores, dentro de los cuales estos interactúan, y los mismos a su vez son clasificados en internos o externos a la industria cárnica (sector donde se realizó el estudio). Dentro de los factores que más afectan directamente al personal, los autores identificaron las demandas del trabajo y los asuntos de recursos humanos, mientras que los factores de menos impacto son los relacionados a los factores externos sobre los que el

personal generalmente tiene menos participación e influencia.

Resumen comparativo

A manera de resumen, en la Tabla 1 se presentan los distintos modelos descritos previamente, indicando el objetivo planteado por sus autores, los principales niveles o elementos constitutivos y el tipo de factores considerados.

Tabla 1. Resumen comparativo de los modelos teóricos sobre TME

Autor	Objetivo planteado	Niveles	Tipo de factores
Armstrong et al (1993)	Servir de base para estudios sobre etiología de TME y programas de intervención Especificar los límites aceptables de diseño del trabajo	Exposición – dosis – capacidad – respuesta	Biomecánicos (aunque válido para otros tipos)
Westgaard y Winkel (1996)	Relacionar exposición mecánica con TME y cuestionar enfoques solo en nivel de carga de trabajo, pero no en repetitividad y duración	Exposición externa – exposición interna – respuestas / efectos modificadores – TME	Biomecánicos Individuales
Van der Beek y Frigs (1998)	Evaluar precisión y aplicabilidad de diferentes métodos de medición	Exp. externa – exp. interna – respuestas a corto plazo – respuestas a largo plazo – capacidad de trabajo	Biomecánicos
Schleifer et al (2002)	Proponer una teoría de hiperventilación de estrés laboral que explique la relación entre factores psicosociales y TME	Factores de estrés psicosocial – tensión emocional – hiperventilación – alcalosis respiratoria – excitación neuronal – tensión muscular – dolor muscular Factores biomecánicos – TME	Psicosociales Biomecánicos (no explícito)
Golubovich et al (2014)	Contribuir a la comprensión del vínculo de estresores psicosociales con TME, con relación al clima de seguridad psicológica	Clima de seguridad psicológica – frustración / resistencia psicológica – TME	Psicosociales
Bongers et al (2002)	Proveer un análisis crítico de la literatura sobre el papel de los factores psicosociales (ocupacionales e individuales) y organizacionales en los TME	Carga física / factores individuales / carga psicosocial – respuesta al estrés – respuesta fisiológica – TME	Biomecánicos Psicosociales Individuales
Sauter y Swanson (1996)	Explicar la etiología de los TME basado en tres componentes: biomecánico, psicosocial/estrés y cognitivo	Organización del trabajo – demanda física – tensión biomecánica – detección de sensación – TME – tensión psicológica / fac. individuales	Biomecánicos Organizacionales Individuales
Feuerstein (1996)	Explicar cómo el estrés laboral y riesgos ergonómicos pueden interactuar para contribuir en TME de extremidades superiores	Estresores psicosociales – demanda del trabajo – estresores ergonómicos – estilo de trabajo – síntomas – TME – discapacidad	Psicosociales Biomecánicos Individuales (conductuales, cognitivos y fisiológicos)
Kumar (2001)	Explicar que los TME responden a un proceso interactivo entre factores genéticos, morfológicos, psicosociales y biomecánicos	Interacción de factores biomecánicos, genéticos, morfológicos, psicosociales – esfuerzo – precipitación de la lesión – nocicepción – dolor – conducta del dolor	Biomecánicos Individuales (rasgos genéticos, morfología y perfil psicosocial)
NRC – IOM (2001)	Clarificar el estado de los conocimientos existentes sobre los	Interacción de cargas externas, factores organiz. y contexto	Biomecánicos Organizacionales

	roles de varios factores de riesgo y la base para iniciativas de prevención	social – carga biomecánica – tolerancias internas – TME / f. individual	Sociales Individuales
Faucett (2005)	Integrar factores de riesgo psicosociales y biomecánicos, y enfatizar el rol de los sistemas de gestión y el ambiente de trabajo como fuentes principales de tensión	Sistemas de gestión – ambiente de trabajo – barreras de trabajo – percepciones – tensión y recuperación – TME – desempeño y productividad / condiciones externas y f. individuales	Psicosociales/ Organizacionales (sist. de gestión y amb. de trabajo) Biomecánicos (no explícito)
Shoaf et al (2000)	Proporcionar un enfoque sistemático y estandarizado de sistema de trabajo complejo para la identificación de peligros y riesgos	Equipos / material / gente – demanda del trabajo – cualificación del trabajo – esfuerzo – riesgo percibido – riesgo real – nivel de aceptación del riesgo – nivel de aceptación del esfuerzo	Biomecánicos (no explícito) Psicosociales (no explícito) Individuales (no explícito)
Moray (2000)	Reunir los componentes del sistema que deben ser considerados para asumir el enfoque de ingeniería de sistemas	Dispositivos físicos – erg. física – conducta individual – conducta de grupo y equipo – conducta organizacional y gerencial – normas legales y regulatorias – presiones sociales y culturales	Biomecánicos Individuales Psicosociales Organizacionales Legales Sociales/culturales
Tappin et al (2008)	Indicar la dirección de la influencia de los factores contextuales y su papel en el aumento de la exposición a factores de riesgo físicos y psicosociales	Influencia cultural – influencia política y relac. humanas – fact. económicos – RRHH – estacionalidad y medio ambiente – demanda de trabajo – diseño de trabajo – sistema de pago y horario – fact. de cambio	Biomecánicos Psicosociales Organizacionales

REFLEXIONES FINALES

Los distintos modelos teóricos descritos previamente, los cuales han sido organizados atendiendo al énfasis general dado por los autores, presentan tanto diferencias como similitudes. Las *diferencias* vienen dadas principalmente por:

1. La perspectiva u orientación dada al modelo, entre las que se distinguen: biomecánica, psicosocial, multifactorial o sistémica.
2. El número de factores o variables consideradas, algunos modelos están enfocados en la vinculación específica entre determinadas variables.
3. El tipo de TME específico considerado, algunos autores se enfocaron sólo al análisis de las molestias

ocurridas en una parte del cuerpo, por ejemplo las extremidades superiores.

4. El diseño de la investigación, algunos modelos responden a estudios experimentales mientras otros han sido derivados de la revisión y análisis documental.

5. Las poblaciones o tipos de trabajos considerados, algunos modelos se han basado en determinadas tareas u ocupaciones, con sus características particulares, por ejemplo trabajos de oficina.

Por su parte, las principales *similitudes* se encuentran en:

1. La consideración de una reacción en cadena. Aunque no todos los modelos utilizan la misma

terminología, la mayoría de ellos parten de la exposición del individuo a determinados factores, los cuales llevan a dosis, y éstas a su vez llevan a respuestas dentro del organismo del sujeto, a manera de cascada, un evento lleva al otro y así sucesivamente hasta originar el indeseable resultado de los TME.

2. La aceptación multifactorial. Todos los autores, independientemente de la orientación o la cantidad de elementos descritos en sus modelos, reconocen la confluencia de distintos factores en el proceso de generación de TME, algunos con mayor impacto que otros.

3. El señalamiento de mecanismos de retroalimentación. Aunque no todos, la mayoría de los modelos plantean que una vez generados los TME, éstos afectan las exigencias del trabajo y el nivel de exposición al que se ve sometido el trabajador, a manera de ciclo.

4. La complejidad del fenómeno. La mayoría de autores presentan en sus modelos, múltiples vías de

cómo se pueden generar los TME, y las relaciones entre distintas variables, aceptando de esta manera la complejidad que caracteriza el problema.

5. Falta de cuantificación de los factores de riesgo. Una característica común entre los distintos modelos revisados, es la ausencia de indicativos relacionados a magnitudes específicas, duración de los tiempos de exposición y periodos de latencia de los TME; por lo general, la exposición a factores se basa en la caracterización de las fuentes de las lesiones (por ejemplo, herramientas y equipos) y el tipo de eventos (por ejemplo, uso repetitivo o incorrecto de herramientas), y algunos de los vínculos con mecanismos psicológicos, organizacionales, fisiológicos, conductuales o individuales se han presentado de manera empírica.

Así mismo, se resalta la carencia de diferenciación entre factores de riesgo para el desarrollo de TME por primera vez, y la exacerbación y mantenimiento en casos de recurrencia, por lo que ambos escenarios son considerados por igual.

CONCLUSIONES

La forma en que se generan los TME relacionados al trabajo ha sido abordada y explicada a partir de diferentes perspectivas, dependiendo de las investigaciones (empíricas y conceptuales), intereses y contextos de cada investigador. Originalmente, los modelos de causalidad caracterizaban la actividad del trabajador únicamente desde los movimientos realizados, las posturas adoptadas y las fuerzas ejercidas, los cuales conducen a la generación de fuerzas internas dentro del cuerpo, consideraciones que corresponden a una perspectiva biomecánica. Sin embargo, con el transcurrir de los años, fueron incorporadas nuevas perspectivas que permitieron afinar la naturaleza y alcance del fenómeno, desencadenando en la delineación de factores de riesgo específicos, útiles para cualquier intervención efectiva. En la actualidad, un dimensionamiento

completo de los TME debe incluir no sólo consideraciones biomecánicas, sino psicosociales, de organización (macro-ergonómicas) e inclusive factores individuales del trabajador.

La compleja etiología de los TME hace que el desarrollo teórico que lleve a la obtención de nuevos hallazgos e incremente el espectro de su entendimiento, sea necesario. Aspectos como los efectos multiplicativos de los factores causantes, las interrelaciones de variables de índole distinta, las ausencias de magnitudes específicas de factores, duración de exposiciones o periodos de latencia, continúan aún sin definir o validar. Al respecto, las técnicas de análisis multivariante de datos, en especial las técnicas de minería de datos pudieran cumplir un papel fundamental en la consecución de estos objetivos.

REFERENCIAS

Almagro, B., Borrero, J., Paramio, G., Carmona, J. y Sierra, A. (2009). Trastornos musculoesqueléticos en el personal de administración y servicios de la Universidad de Huelva. *Revista Digital de Salud y Seguridad en el Trabajo*, 1, 1-20.

Armstrong, T., Buckle, P., Fine, L., Hagberg, M., Jonsson, B., Kilborn, A., Kuorinka, I., Silverstein, B., Sjogaard, G. y Viikari, E. (1993). A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 19(2), 73-84.

- Attwood, D., Deeb, J. y Danz, M. (2004). Ergonomic solutions for the process industries. Burlington, USA: Elsevier Inc.
- Bongers, P., de Winter, C., Kompier, M. y Hildebrandt, V. (1993). Psychosocial factors at work and musculoskeletal disease. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 19(5), 297-312.
- Bongers, P., Kremer, A. y ter Laak, J. (2002). Are psychosocial factors, risk factors for symptoms and signs of the shoulder, elbow, or hand/wrist?: a review of the epidemiological literature. *American Journal of Industrial Medicine*, 41, 315-342.
- Buckle, P. (2005). Ergonomics and musculoskeletal disorders: overview. *Occupational Medicine*, 55, 164-167.
- Chandna, P., Deswal, S. y Pal, M. (2010). Semi-supervised learning based prediction of musculoskeletal disorder risk. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 3(4), 291-295.
- Faucett, J. (2005). Integrating 'psychosocial' factors into a theoretical model for work-related musculoskeletal disorders. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6(6), 531-550.
- Feuerstein, M. (1996). Workstyle: definition, empirical support, and implications for prevention, evaluation, and rehabilitation of occupational upper-extremity disorders. En Sauter, S. y Moon, S. *Beyond Biomechanics: Psychosocial Aspects of Musculoskeletal Disorders in Office Work*. Bristol: Taylor and Francis, 177-206.
- Huang, G., Feuerstein, M. y Sauter, S. (2002). Occupational stress and work-related upper extremity disorders: concepts and models. *American Journal of Industrial Medicine*, 41, 298-314.
- Karsh, B. (2006). Theories of work-related musculoskeletal disorders: implications for ergonomic interventions. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 7(1), 71-88.
- Kumar, S. (2001). Theories of musculoskeletal injury causation. *Ergonomics*, 44(1), 17-47.
- López, J. y Cuevas, C. (2008). Lesiones osteomusculares relacionadas con el trabajo. Concepción, Chile: Universidad de Concepción, Unidad de Ergonomía.
- Ministerio del Poder Popular para el Trabajo y Seguridad Social (2008). Norma técnica para la declaración de enfermedad ocupacional (NT-02-2008). Caracas: Gaceta Oficial 39070
- Moray, N. (2000). Culture, politics and ergonomics. *Ergonomics*, 43(7), 858-868.
- National Academy of Sciences (2001). *Musculoskeletal disorders and the workplace. Low back and upper extremities*. Washington: National Academy Press.
- Organización Internacional del Trabajo (2010). Lista de enfermedades profesionales (revisada en 2010). Ginebra: OIT.
- Organización Mundial de la Salud (2004). Prevención de trastornos musculoesqueléticos en el lugar de trabajo. Recuperado el 12 de junio de 2013, de: <http://whqlibdoc.who.int/pwh/2004/9243590537.pdf>.
- Putz, V. (1988). *Cumulative trauma disorders. A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs*. Cincinnati, USA: National Institute for Occupational Safety and Health.
- Sauter, S. y Swanson, N. (1996). An ecological model of musculoskeletal disorders in office work. En Sauter, S. y Moon, S. *Beyond Biomechanics: Psychosocial Aspects of Musculoskeletal Disorders in Office Work*. Bristol: Taylor and Francis, 3-71.
- Schleifer, L., Ley, R. y Spalding, T. (2002). A hyperventilation theory of job stress and musculoskeletal disorders. *American Journal of Industrial Medicine*, 41, 420-432.
- Shoaf, C., Genaidy, A., Haartz, J., Karwowski, W., Shell, R., Hancock, P. y Huston, R. (2000). An adaptive control model for assessment of work-related musculoskeletal hazards and risks. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1(1), 34-61.
- Tappin, D., Bentley, T. y Vitalis, A. (2008). The role of contextual factors for musculoskeletal disorders in the New Zealand meat processing industry. *Ergonomics*, 51(10), 1576-1593.
- Van der Beek, A. y Frigs-Dresen, M. (1998). Assessment of mechanical exposure in ergonomic epidemiology. *Occupational and Environmental Medicine*, 55, 291-299.
- Westgaard, R. y Winkel, J. (1996). Guidelines for occupational musculoskeletal load as a basis for intervention: a critical review. *Applied Ergonomics*, 27(2), 79-88.

Autor

Mervyn Márquez Gómez. Ingeniero Industrial. Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad Nacional Experimental del Táchira. Participante del Doctorado en Ingeniería, Área Industrial, Universidad de Carabobo. Investigador PEII. Profesor Agregado a Dedicación Exclusiva, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Venezuela.

Email: mervyn@uned.edu.ve

Recibido: 09-03-2015

Aceptado: 29-05-2015