



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
DOCTORADO EN INGENIERÍA
ÁREA INDUSTRIAL



**MODELO PARA LA PREDICCIÓN
DE TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS
DE ORIGEN LABORAL**

AUTOR:

MERVYN MÁRQUEZ GÓMEZ

TUTOR:

DR. MIGUEL MÁRQUEZ ROBLEDO

BÁRBULA, DICIEMBRE 2016

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
DOCTORADO EN INGENIERÍA
ÁREA INDUSTRIAL

**MODELO PARA LA PREDICCIÓN
DE TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS
DE ORIGEN LABORAL**

AUTOR:

MERVYN MÁRQUEZ GÓMEZ

Trabajo presentado ante el área de Estudios de
Postgrado de la Universidad de Carabobo para
optar al título de Doctor en Ingeniería.

BÁRBULA, DICIEMBRE 2016



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS PARA GRADUADOS
SECCIÓN DE GRADO



ACTA DE DISCUSIÓN DE TESIS DOCTORAL

En atención a lo dispuesto en los Artículos 147, 148 y 149 del Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo, quienes suscribimos como Jurado designado por el Consejo de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a lo previsto en el Artículo 146 del citado Reglamento, para estudiar la Tesis Doctoral titulada:

“MODELO PARA LA PREDICCIÓN DE TRASTORNOS MUSCULOESQUELETICOS DE ORIGEN LABORAL”

*Presentada para optar al grado de **DOCTOR EN INGENIERÍA** por el (la) aspirante:*

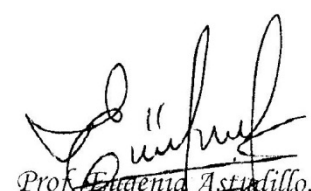
MERVYN MÁRQUEZ
V.- 13.562.147

*Habiendo leído y escuchada la exposición, decidimos que la Tesis cumple con la rigurosidad académica y científica, por lo que se da por **APROBADA**.*

En Valencia, a los siete (07) día del mes de diciembre del año dos mil dieciséis.


Prof. Mariana Barrios, Dr.
C.I.: 13.756.710


Prof. Emilsy Medina, Dr.
C.I.: 7.121.536
FE: 02/12/2016/D6.-


Prof. Eugenia Astudillo, Dr.
C.I.: 11.066.215

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que a lo largo del camino de esta investigación, me ofrecieron sus orientaciones, conocimientos, experiencias, y en fin su apoyo y motivación, permitiéndome alcanzar tan importante meta.

A mi Universidad Nacional Experimental del Táchira, mi segundo hogar desde hace veinte años, cuando ingresé como estudiante de Ingeniería Industrial, por brindarme la oportunidad de realizar estudios doctorales.

A la Universidad de Carabobo, mi alma mater durante estos últimos cuatro años, en especial a los profesores Ruth Illada, Marianna Barrios, Emilsy Medina, Johana Guerrero, por sus valiosas contribuciones, y a mi amigo Agustín Mejías, quien me motivó a iniciar el doctorado.

A Miguel Márquez, mi mentor y amigo, por su profesionalismo, sus sabias orientaciones y por enseñarme sobre ergonomía directamente en la práctica.

A mi compañera de vida, Jusbeth Zambrano, por apoyarme y motivarme en todo momento, y cubrir inigualablemente mi rol como padre durante mi ausencia.

A mis pequeñas Melanie y Natalie, por ser la fuente de mi inspiración.

A mis padres, Roberto Márquez y Nancy Gómez, por modelarme y enseñarme desde muy pequeño, el valor de la responsabilidad, la dedicación y la superación personal, además, por incluirme siempre en sus oraciones.

A mi familia adoptiva en Valencia durante todo este tiempo, mi hermano Kervin Márquez y María Teresa Jaimes, por todo el apoyo y paciencia. Así mismo, a Josefina Correa en Las Tejerías, y a José Contreras y Olga Oliveira en Cagua.

A los trabajadores de la industria cárnica, por permitirme conocer más de cerca sobre sus trabajos y sus molestias musculoesqueléticas; y a María Duque y Wilmer Gutiérrez, por facilitarme mi estadía en la empresa.

A mis compañeras de cohorte, Roselin Santamaría y Dora Socorro, por el ánimo y compañía durante las clases de doctorado.

Y a todos quienes de una u otra forma pusieron su granito de arena, y hoy se sienten orgullosos de mí.

No podía dejar de agradecer al Santo Cristo de La Grita y a la Virgen de La Consolación, por escuchar una vez más mis peticiones.

A Melanie y Natalie,
espero que mi incomprensible ausencia durante todo este tiempo,
y esas lágrimas derramadas cuando salía de viaje,
se conviertan en motivo de orgullo y de inspiración para sus propios desafíos en el futuro

ÍNDICE

	Pág.
Resumen	xvi
CAPÍTULO I	
EL PROBLEMA	16
Planteamiento del Problema	16
Formulación del Problema.....	23
Objetivos.....	24
Justificación de la Investigación	24
Alcance y Limitaciones del Trabajo	27
CAPÍTULO II	
Marco de Referencia.....	30
Sistema Musculoesquelético Humano	31
Huesos	31
Músculos	32
Tendones	33
Ligamentos.....	34
Articulaciones	35
Nervios	36
Trastornos Musculoesqueléticos Relacionados con el Trabajo	37
Definición.....	37
Clasificación.....	38
Detección de Síntomas Relacionados a Trastornos Musculoesqueléticos.....	47
Cuestionario nórdico estandarizado	49
Escala de malestar del cuerpo	50
Modelos Teóricos Sobre la Generación de Trastornos Musculoesqueléticos	51
Enfoque en factores biomecánicos.....	52
La contribución de los factores psicosociales	56
Etiología multifactorial	59

Enfoque sistémico	68
Resumen comparativo	72
Factores de Riesgo Relacionados al Desarrollo de TME.....	75
Factores físicos o biomecánicos.....	77
Factores psicosociales	80
Factores individuales.....	82
Métodos de Evaluación de Factores de Riesgo	83
Método RULA (Rapid Upper Limb Assessment).....	91
Ecuación revisada de NIOSH.....	93
Método ERGO/IBV para evaluación de empujes y arrastres.....	95
Método Check List OCRA (Occupational Repetitive Action)	96
Método ISTAS21 (CoPsoQ)	98
Extracción de Conocimiento a partir de Datos	101
Definición del problema.....	103
Pre-procesamiento de datos.....	103
Minería de datos	105
Post minería de datos	109
Weka	109
Métodos de selección	110
Métodos de clasificación.....	116
Métodos de evaluación (Validación)	124
CAPÍTULO III	
Marco Metodológico	130
Nivel de la Investigación	130
Diseño de la Investigación.....	131
Población y Muestra	131
Método de Investigación.....	135
Fase 1. Determinación de la prevalencia de TME de origen laboral	135
Fase 2. Identificación y evaluación de los factores de riesgo de TME	136
Fase 3. Selección de los factores de riesgo relevantes en la predicción de TME	139
Fase 4. Construcción de modelo de predicción de TME	140

CAPÍTULO IV

Análisis y Discusión de Resultados.....	142
Prevalencia de Molestias Musculoesqueléticas	142
Perfil de la Muestra.....	146
Identificación y Evaluación de los Factores de Riesgo Relacionados a TME.....	149
Identificación de factores de riesgo biomecánico	149
Evaluación de los factores de riesgo biomecánico.....	155
Evaluación de los factores de riesgo psicosocial	161
Selección de los Factores Relevantes en el Desarrollo de TME.....	165
Selección de factores relevantes en TME de hombros.....	165
Selección de factores relevantes en TME de espalda.....	169
Selección de factores relevantes en TME de manos y muñecas	171
Selección de factores relevantes en TME de cuello.....	174
Selección de factores relevantes en TME de piernas y pies.....	176
Selección de factores relevantes en TME de codos y antebrazos	178
Síntesis de los atributos seleccionados según zona corporal	179

CAPÍTULO V

Construcción y Validación de Modelos Predictivos.....	180
Modelo para la Predicción de TME en Hombros	180
Validación del modelo predictivo de TME en hombros	182
Modelo para la Predicción de TME en Espalda	184
Validación del modelo predictivo de TME en espalda	186
Modelo para la Predicción de TME en Manos y Muñecas.....	187
Validación del modelo predictivo de TME en manos y muñecas.....	188
Modelo para la Predicción de TME en Cuello	189
Validación del modelo predictivo de TME en cuello	191
Modelo para la Predicción de TME en Piernas y Pies.....	192
Modelo para la Predicción de TME en Codos y Antebrazos.....	194
Síntesis de los Modelos Generados según Zona Corporal.....	194
Prototipo de Aplicación	197

Conclusiones.....	200
Líneas de Investigación Futuras	204
Referencias	205
Anexos.....	217

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación histopatológica de las lesiones tendinosas.....	42
Tabla 2. Listado de enfermedades del sistema osteomuscular según la OIT	46
Tabla 3. Listado de enfermedades ocupacionales (TME) según el INPSASEL	47
Tabla 4. Escalas del dolor.....	51
Tabla 5. Resumen comparativo de los modelos teóricos sobre TME	72
Tabla 6. Factores que contribuyen al desarrollo de TME.....	76
Tabla 7. Relación entre factores físicos y trastornos musculoesqueléticos.....	80
Tabla 8. Relación entre factores psicosociales y trastornos musculoesqueléticos	81
Tabla 9. Relación entre factores individuales y trastornos musculoesqueléticos.....	83
Tabla 10. Principales métodos de evaluación de posturas forzadas y estáticas	86
Tabla 11. Principales métodos de evaluación de manipulación manual de cargas	87
Tabla 12. Principales métodos de evaluación de repetitividad de movimientos	88
Tabla 13. Principales métodos de evaluación de factores psicosociales	88
Tabla 14. Factores de riesgo de TME considerados.....	91
Tabla 15. Niveles de actuación sugeridos por RULA	92
Tabla 16. Intervalos de riesgo según el índice de levantamiento NIOSH.....	95
Tabla 17. Niveles de riesgo para arrastres o empujes de cargas.....	96
Tabla 18. Niveles de riesgo asociados al Índice <i>Check List</i> OCRA.....	98
Tabla 19. Factores psicosociales considerados por el CoPsoQ-istas21.....	100
Tabla 20. Nivel de exposición psicosocial por grupo de factores	101
Tabla 21. Clasificación de las técnicas de minería de datos.....	106
Tabla 22. Métodos sugeridos por clase de modelo.....	108
Tabla 23. Clasificación de las técnicas de minería de datos.....	108
Tabla 24. Métodos de selección de atributos en Weka.....	111
Tabla 25. Estrategias de búsqueda para selección de atributos	114
Tabla 26. Métodos de clasificación en Weka.....	117
Tabla 27. Matriz de confusión para una predicción de dos clases	126

Tabla 28. Matriz de proporciones conjuntas en un modelo de k categorías.....	127
Tabla 29. Valoración del coeficiente <i>kappa</i>	128
Tabla 30. Valoración del área bajo la curva <i>ROC</i>	129
Tabla 31. Listado de empresas del sector cárnico ubicadas en la región central	133
Tabla 32. Empresas consideradas en la investigación	134
Tabla 33. Prevalencia de TME según la región del cuerpo	144
Tabla 34. Intensidad de molestia ponderada según la zona del cuerpo	145
Tabla 35. Distribución de trabajadores por estrato etario.....	147
Tabla 36. Distribución de trabajadores por IMC.....	148
Tabla 37. Distribución de trabajadores según la antigüedad en el cargo	148
Tabla 38. Factores de riesgo biomecánico identificados en matanza.....	149
Tabla 39. Factores de riesgo biomecánico identificados en eviscerado	150
Tabla 40. Factores de riesgo biomecánico identificados en desposte	150
Tabla 41. Factores de riesgo biomecánico identificados en selección de piezas	151
Tabla 42. Factores de riesgo biomecánico identificados en preparación de condimentos .	151
Tabla 43. Factores de riesgo biomecánico identificados en mezcla.....	152
Tabla 44. Factores de riesgo biomecánico identificados en embutido	152
Tabla 45. Factores de riesgo biomecánico identificados en cocción.....	153
Tabla 46. Factores de riesgo biomecánico identificados en inyección.....	153
Tabla 47. Factores de riesgo biomecánico identificados en empaque.....	154
Tabla 48. Factores de riesgo biomecánico identificados en embalaje.....	154
Tabla 49. Niveles de riesgo biomecánico en matanza.....	156
Tabla 50. Niveles de riesgo biomecánico en eviscerado	156
Tabla 51. Niveles de riesgo biomecánico en desposte	156
Tabla 52. Niveles de riesgo biomecánico en selección de piezas	156
Tabla 53. Niveles de riesgo biomecánico en preparación de condimentos	157
Tabla 54. Niveles de riesgo biomecánico en mezcla.....	157
Tabla 55. Niveles de riesgo biomecánico en embutido	157
Tabla 56. Niveles de riesgo biomecánico en cocción.....	158
Tabla 57. Niveles de riesgo biomecánico en inyección.....	158

Tabla 58. Niveles de riesgo biomecánico en empaque.....	158
Tabla 59. Niveles de riesgo biomecánico en embalaje.....	159
Tabla 60. Listado de variables de entrada	164
Tabla 61. Listado de variables de salida.....	164
Tabla 62. Subconjuntos de atributos seleccionados para molestias de hombros.....	167
Tabla 63. Escenarios generados para molestias de hombros.....	167
Tabla 64. Precisión obtenida en cada escenario para molestias de hombros	168
Tabla 65. Atributos seleccionados para TME de hombros.....	169
Tabla 66. Escenarios y precisiones alcanzadas para molestias de espalda.....	170
Tabla 67. Atributos seleccionados para TME de espalda.....	171
Tabla 68. Escenarios y precisiones alcanzadas para molestias de manos/muñecas	172
Tabla 69. Atributos seleccionados para TME de manos/muñecas	173
Tabla 70. Escenarios y precisiones alcanzadas para molestias de cuello	175
Tabla 71. Atributos seleccionados para TME de cuello	176
Tabla 72. Escenarios y precisiones alcanzadas para molestias de piernas/pies.....	177
Tabla 73. Atributos seleccionados para TME de piernas/pies.....	177
Tabla 74. Escenarios y precisiones alcanzadas para molestias de codos/antebrazos	179
Tabla 75. Resumen de atributos seleccionados según zona corporal afectada.....	179
Tabla 76. Matriz de confusión del clasificador <i>FT</i> en TME de hombros.....	183
Tabla 77. Medidas de evaluación del clasificador <i>FT</i> en TME de hombros	183
Tabla 78. Indicadores de los clasificadores preseleccionados para TME de espalda.....	184
Tabla 79. Coeficientes y <i>odds ratio</i> del clasificador <i>Logistic</i> para TME de espalda	185
Tabla 80. Matriz de confusión del clasificador <i>Logistic</i> en TME de espalda	186
Tabla 81. Medidas de evaluación del clasificador <i>Logistic</i> en TME de espalda.....	187
Tabla 82. Matriz de confusión del clasificador <i>FT</i> en TME de manos/muñecas	189
Tabla 83. Medidas de evaluación del clasificador <i>FT</i> en TME de manos/muñecas	189
Tabla 84. Indicadores de los clasificadores preseleccionados para TME de cuello.....	190
Tabla 85. Matriz de confusión del clasificador <i>LMT</i> en TME de cuello.....	192
Tabla 86. Medidas de evaluación del clasificador <i>LMT</i> en TME de cuello	192
Tabla 87. Indicadores de los clasificadores preseleccionados para TME de piernas	193

Tabla 88. Matriz de confusión del clasificador <i>RandomTree</i> en TME de piernas	193
Tabla 89. Medidas de evaluación del clasificador <i>RandomTree</i> en TME de piernas	193
Tabla 90. Resumen de modelos generados según zona corporal	195

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Huesos	32
Figura 2. Músculos	33
Figura 3. Tendón	33
Figura 4. Ligamento	35
Figura 5. Articulaciones	36
Figura 6. Nervio periférico	37
Figura 7. Modelo de Armstrong et al (1993).....	53
Figura 8. Modelo de Westgaard y Winkel (1996).....	54
Figura 9. Modelo de Van der Beek y Frigs-Dresen (1998).....	56
Figura 10. Teoría de hiperventilación de Schleifer et al (2002).....	58
Figura 11. Modelo de la relación estrés-TME de Golubovich et al (2014).....	59
Figura 12. Modelo de Bongers et al (2002).....	60
Figura 13. Modelo ecológico de TME de Sauter y Swanson (1996)	61
Figura 14. Modelo del estilo de trabajo de Feuerstein (1996).....	62
Figura 15. Teoría de interacción multivariada de Kumar (2001).....	64
Figura 16. Modelo conceptual del NRC y el IOM (2001)	65
Figura 17. Modelo integrado de Faucett (2005).....	67
Figura 18. Modelo cibernético del sistema de trabajo de Shoaf et al (2000)	69
Figura 19. Modelo de sistemas en ergonomía de Moray (2000).....	70
Figura 20. Modelo de los factores contextuales de Tappin et al (2008).....	71
Figura 21. Factores de riesgo de trastornos musculoesqueléticos	77
Figura 22. Proceso del KDD	103
Figura 23. Método de selección CFS	113
Figura 24. Esquema de validación cruzada para $k=4$	125
Figura 25. Espacio <i>ROC</i> y ejemplo de curvas <i>ROC</i>	129
Figura 26. Esquema metodológico	141
Figura 27. Relación de trabajadores saludables y con TME según región del cuerpo	144

Figura 28. Intensidad de las molestias percibidas por los trabajadores.....	145
Figura 29. Frecuencia de entrenamiento físico y labores domésticas	147
Figura 30. Distribución de trabajadores según nivel de riesgo por sobrecarga postural	159
Figura 31. Distribución de trabajadores según nivel de riesgo por repetitividad	160
Figura 32. Distribución de trabajadores según nivel de riesgo por levantamientos	160
Figura 33. Distribución de trabajadores según nivel de riesgo por empujes/arrastres	161
Figura 34. Distribución de trabajadores según nivel de riesgo psicosocial.....	163
Figura 35. Histogramas de factores según TME de hombros.....	166
Figura 36. Precisión alcanzada por tipo de clasificador en TME de hombros	168
Figura 37. Histogramas de factores según TME de espalda.....	169
Figura 38. Precisión alcanzada por tipo de clasificador en TME de espalda	171
Figura 39. Histogramas de factores según TME de manos/muñecas	172
Figura 40. Precisión alcanzada por tipo de clasificador en TME de manos/muñecas.....	173
Figura 41. Histogramas de factores según TME de cuello.....	174
Figura 42. Precisión alcanzada por tipo de clasificador en TME de cuello	175
Figura 43. Histogramas de factores según TME de piernas/pies	176
Figura 44. Precisión alcanzada por tipo de clasificador en TME de piernas/pies	177
Figura 45. Histogramas de factores según TME de codos/antebrazos	178
Figura 46. Vista de árbol del modelo clasificador para TME de hombros.....	181
Figura 47. Vista de árbol del modelo clasificador para TME de manos/muñecas	188
Figura 48. Vista de árbol del modelo clasificador para TME de cuello	191
Figura 49. Entrada de datos del modelo predictivo de TME.....	198
Figura 50. Lista desplegable de alternativas para el nivel de riesgo por repetitividad.....	199
Figura 51. Vista de resultados de la hoja de cálculo	200



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
DOCTORADO EN INGENIERÍA
ÁREA INDUSTRIAL



MODELO PARA LA PREDICCIÓN DE TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS DE ORIGEN LABORAL

Autor: Mervyn Márquez
Tutor: Dr. Miguel Márquez

RESUMEN

Los trastornos musculoesqueléticos constituyen una de las enfermedades ocupacionales más comunes en el sector laboral, siendo responsables de dolor y sufrimiento en los trabajadores afectados, disminución de su productividad y hasta discapacidad; cuyo origen, de acuerdo a varios autores, es multicausal, interviniendo factores biomecánicos, psicosociales y personales. El objetivo de la investigación es desarrollar un modelo para la predicción de trastornos musculoesqueléticos de origen laboral. Se tomó una muestra de 174 trabajadores de la industria cárnica, desarrollándose una investigación de campo, no experimental, de tipo transversal. Las principales técnicas de recolección de datos utilizadas fueron la observación directa y la encuesta, a partir de las cuales se aplicaron los métodos de evaluación ergonómica: RULA, OCRA, Ecuación de NIOSH, ERGO/IBV e ISTAS21, con el propósito de valorar los factores de riesgo identificados; mientras que para el procesamiento de los datos se empleó la técnica de reconocimiento de patrones mediante minería de datos. Dentro de los principales resultados hallados destacan una prevalencia de molestias musculoesqueléticas de 77%, siendo los hombros, la espalda y las manos, las zonas corporales afectadas más frecuentes entre los trabajadores consultados. Luego, a partir de un conjunto de veinte factores considerados inicialmente, se seleccionaron aquellos relevantes vinculados a las molestias reportadas en diferentes áreas del cuerpo. Finalmente, se construyeron y validaron modelos para la predicción de trastornos en los hombros, espalda, manos/muñecas y cuello, predominando los clasificadores basados en regresión logística y árboles de decisión, los cuales permitieron obtener la mayor precisión de aciertos, entre 83,3% y 90,2%.

Palabras clave: trastornos musculoesqueléticos; modelo predictivo; factores de riesgo; minería de datos; trabajadores

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

El logro de un ambiente laboral completamente seguro y saludable sigue vislumbrándose como un objetivo muy difícil de alcanzar y en ciertos casos hasta utópico, debido a la gran cantidad de accidentes laborales y enfermedades profesionales que se siguen registrando día a día en las diferentes actividades económicas desarrolladas a lo largo del mundo. Según la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2009), las personas se enfrentan a numerosos peligros en el trabajo que pueden desencadenar en lesiones, cáncer, pérdida de la audición, problemas de tipo respiratorio, musculoesquelético, cardiovascular, reproductivo, neurológico, de la piel y hasta trastornos mentales. Se reseña que en general, más de 350.000 trabajadores pierden la vida cada año a causa de lesiones ocupacionales no intencionales.

Por su parte, la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2013a) estima que cada año cerca de 2 millones de personas se convierten en víctimas fatales del creciente número de enfermedades relacionadas con el trabajo (esto es 5.500 muertes diarias en promedio), y 160 millones más sufren de enfermedades profesionales no mortales. Sin embargo, aunque las enfermedades profesionales ocasionan un número de muertes seis veces mayor que los accidentes laborales, la OIT señala que generalmente la principal atención recae sobre los accidentes.

El impacto de las enfermedades profesionales se ve reflejado directamente en la pérdida de vidas humanas, empobrecimiento de los trabajadores y sus familias, debilitamiento de comunidades enteras, reducción de la productividad de las empresas, y en algunos casos hasta en un incremento de la carga financiera estatal dados los costos de atención médica (OIT, 2013a). La OIT estima que en conjunto, las enfermedades profesionales y los accidentes laborales generan pérdidas por el orden de 4% del producto interno bruto (PIB), lo que representa cerca de 2,8 billones de dólares, debido a costos directos e indirectos

Por otro lado, los grandes cambios laborales que ha implicado el surgimiento e incorporación de la tecnología, aunado a las condiciones económicas y sociales actuales, no

sólo ha repercutido en la aparición de nuevos riesgos y peligros laborales, sino que por el contrario no han podido erradicar riesgos y peligros tradicionales. Al respecto, la OIT (2013b) expone

que enfermedades conocidas tradicionalmente tales como la neumoconiosis y las enfermedades vinculadas al asbesto, continúan muy extendidas, entre tanto otras enfermedades ocupacionales relativamente nuevas se encuentran en aumento, como es el caso de los trastornos mentales y trastornos musculoesqueléticos (TME).

De acuerdo a la OIT (2010a) se ha venido suscitando un incremento en los trastornos de la salud a largo plazo, en especial en los países desarrollados, entre los cuales se encuentran el cáncer profesional, los TME, enfermedades cardiovasculares y el estrés en el trabajo. Además plantea que la mayoría de los países desarrollados y muchos en vías de desarrollo están experimentando un envejecimiento de la población y en particular de sus trabajadores, originando que la fuerza laboral sea más vulnerable a ciertos riesgos como por ejemplo las enfermedades infecciosas y los TME.

Al respecto, los TME constituyen los trastornos de salud más comunes relacionados con el trabajo en los 27 Estados miembros de la Unión Europea, representando el 59% de todas las enfermedades profesionales reconocidas por las estadísticas europeas en el año 2005, y siendo los responsables de más del 10% de todos los años que se perdieron por discapacidad en el año 2009 (OIT, 2013b).

En España, sólo en el año 2011 se registraron 18.121 casos de enfermedades profesionales, de las cuales el 49,1% correspondieron al sector industrial, en el que resalta la industria de los alimentos con 1.417 casos (7,8% del total), según lo señalan datos del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de ese país a través del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT, 2012a). Con relación al tipo de enfermedad, la fuente señala que predominan las enfermedades profesionales causadas por agentes físicos (82,6%), destacando aquellas provocadas por posturas forzadas y movimientos repetitivos que ocasionan fatiga e inflamación de vainas tendinosas, tejidos peritendinosos e inserciones musculares y tendinosas (50,1%) seguidas de las que ocasionan parálisis de los nervios debidos a la presión (18,0%).

Adicionalmente, de acuerdo a la VII Encuesta Nacional de las Condiciones de Trabajo realizada en ese país (INSHT, 2012b), se resalta que el porcentaje de trabajadores españoles que sienten alguna molestia vinculada a posturas y esfuerzos derivados del trabajo que realiza, aumentó en un 3,8% en el año 2011 respecto a la encuesta anterior realizada en el año 2007. La encuesta refleja que dentro de las molestias musculoesqueléticas más frecuentes, manifestadas por los trabajadores encuestados, se encuentran las de la zona baja de la espalda (44,9% de los casos), nuca/cuello (34,3%), y zona alta de la espalda (27,1%), por mencionar los tres primeros. Además, se reseña que las exigencias físicas más habituales son repetir los mismos movimientos de manos y brazos (59%) y adoptar posturas dolorosas o fatigantes (36%); y que para el 87% de los trabajadores el problema de salud que les aqueja ha sido agravado o producido por el trabajo.

El dolor en la zona baja de la espalda puede deberse al levantamiento y transporte de cargas pesadas, al trabajo físico exigente, y a las frecuentes posturas incómodas, de flexión o torsión. Aproximadamente el 37% de los casos de dolor de espalda en el mundo es atribuible a factores de riesgo ocupacionales; que a pesar de no ser un motivo de mortalidad prematura, genera morbilidad considerable y es una causa importante de las ausencias de trabajo, lo que resulta en pérdidas económicas, además de limitar el trabajo y actividades sociales en el afectado (World Health Organization, 2009).

En el caso de Estados Unidos, de acuerdo a la Encuesta de lesiones y enfermedades ocupacionales (SOII, por sus siglas en inglés), casi 3 millones de casos no fatales de enfermedades y lesiones en el trabajo fueron reportadas por empleadores de la industria privada en el 2012, equivalente a una tasa de incidencia de 3,4 casos por cada 100 trabajadores a tiempo completo, y aún más alta fue la tasa presentada por los trabajadores estatales y de gobierno local (5,6). Con relación al tipo de lesión o enfermedad más recurrente, se mencionan en primer lugar los desórdenes musculoesqueléticos, representando el 34% del total de casos con días perdidos de trabajo; esto es, 388.060 trabajadores (tasa de incidencia de 38 casos por cada 10.000 trabajadores a tiempo completo) que requirieron en promedio 12 días de recuperación antes de regresar al trabajo. (Bureau of Labor Statistics, BLS, 2013).

La situación en América Latina no se encuentra alejada de este panorama; en Chile por ejemplo, según la Encuesta Nacional de Salud realizada por el Departamento de Epidemiología del Ministerio de Salud de Chile (2012), un 37,6% de la población chilena mayor a 15 años, reportó síntomas musculoesqueléticos de origen no traumático en los últimos siete días; de los cuales, la mayor parte (91,2%) refirieron presentar dolores de intensidad mayor o igual a cuatro en una escala de uno a diez, y para la mayoría de los casos (60,4%), los síntomas los presentaban desde hace más de un año. Se observaron además, prevalencias significativamente más altas en mujeres y aumentadas con la edad.

En México, de acuerdo al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2012), en el periodo del 2006 al 2011 se reflejó un aumento de 38,29% en el número de riesgos de trabajo (que incluye los accidentes de trabajo, accidentes en trayecto y enfermedades de trabajo), al pasar de 387.829 a 536.322, lo que se tradujo en una variación en la tasa respectiva de 2,9 a 3,6 por cada 100 trabajadores; este incremento originó a su vez, un aumento en el número de días por incapacidad temporal por riesgo de trabajo de 73,47%, pasando de 7.870.186 a 13.652.156. Con relación a defunciones por riesgos de trabajo, la tasa varió de 0,98 a 1,05 por cada 10.000 trabajadores, y en cuanto al tipo de actividad económica más vulnerable resalta la industria de la transformación con 144.789 casos de riesgos de trabajo (27%). Según el informe, las enfermedades de trabajo que presentan las tasas más altas (por cada diez mil trabajadores) para el año 2011, son hipoacusias (9,3), neumoconiosis (5,3), sinovitis, tenosinovitis y bursitis (1,9) y, entesopatías (1,9); sin embargo, las dos últimas categorías, que corresponden a enfermedades de tipo musculoesquelético, son las que han experimentado el mayor crecimiento entre los años 2006 y 2011, con una variación de 375% y 850%, respectivamente.

En Venezuela, de acuerdo a la Dirección de Epidemiología y Análisis Estratégico del Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales (INPSASEL, 2013), en el año 2012 fueron formalizados un total de 63.918 accidentes laborales, de los cuales el 36,9% se ubicaron en las entidades de Carabobo (21,2%) y Aragua (15,75); la mayoría de estos accidentes (40,7%) ocurrieron en trabajadores entre 25 y 34 años de edad. Con relación al tipo de actividad económica, resalta en primer lugar las industrias manufactureras con un total de 25.391 casos (39,7%), de las cuales la mayoría se incluye dentro de la categoría de la elaboración de productos alimenticios y bebidas (15,4%).

Respecto al área del cuerpo afectada, se puede observar en las estadísticas presentadas por el INPSASEL (2013), que sobresalen los accidentes laborales relacionados con las extremidades superiores con un 41,6% (26.583 casos), seguidas las de extremidades inferiores con 27,3%. Dentro del tipo de lesión más frecuente se encuentran las heridas (23,5%), contusiones y aplastamientos (23,3%) y traumatismos superficiales (19,8%).

La elaboración de productos alimenticios y bebidas, perteneciente a la División 15 de la Clasificación Internacional Industrial Uniforme (Naciones Unidas, 2002), constituye la división o subsector económico con la mayor cantidad de registros de accidentes (INPSASEL, 2013). Dentro de esta división, a su vez el grupo o rama de actividad que más sobresale es el de la producción, procesamiento y conservación de carne, pescado, frutas, legumbres, hortalizas, aceites y grasas (Grupo 151), con un total de 2482 casos (3,9% del total general) para el año 2012, y más específicamente, la actividad relacionada a la matanza de ganado, elaboración y conservación de carne, elaboración de productos cárnicos, mataderos y frigoríficos (Clase 1511) con un registro de 1956 accidentes (3,1% del total general).

No obstante, en cuanto a las enfermedades profesionales, los registros más recientes publicados por el INPSASEL datan del año 2006, y en los mismos se reconocen los TME como la enfermedad asociada al trabajo que aqueja a mayor cantidad de trabajadores venezolanos (76,5%), siendo la industria manufacturera la actividad económica con la mayoría de casos (53,5%), y las protrusiones y hernias discales el principal tipo de trastorno con un 43,7% de los diagnósticos (INPSASEL, 2006). Sin embargo, a partir de ese año se han publicado estadísticas de accidentes laborales pero no de enfermedades ocupacionales.

A pesar de ello, algunas empresas, en especial las más grandes, llevan sus registros de datos epidemiológicos, tal es el caso de una importante empresa venezolana perteneciente a la industria cárnica, cuyos reportes internos indican que de un total de 1079 trabajadores atendidos por la unidad de servicio médico en el mes de mayo de 2013, el 40,1% fueron diagnosticados con algún tipo de TME, constituyendo el tipo de lesión más frecuente en dicha empresa, y la principal causa de días de reposo cada mes (Plumrose Latinoamericana, 2013). De allí que los TME representan un problema bien serio tanto para los trabajadores como para los empresarios de esta importante actividad económica del país.

Al consultar algunos estudios particulares que se han realizado en diversos sectores laborales, es posible encontrar la alta prevalencia de TME, especialmente en áreas de espalda, cuello y extremidades superiores. Por ejemplo, Öztürk y Esin (2011) hallaron una prevalencia de 65% de TME en trabajadoras del área de costura de una empresa textil, destacando el tronco (62,5%), el cuello (50,5%) y los hombros (50,2%) como las áreas del cuerpo más afectadas; entre tanto, una prevalencia de 80% de síntomas de TME de mano y muñeca fue hallada en trabajadores de la industria del salmón, específicamente en tareas de deshuese, seguido por los hombros en un 60% y los brazos y codos en 50% (Ilardi, 2012). Por su parte, Fernández et al (2014) consiguieron que el 57,4% de trabajadores auxiliares de enfermería manifestaron haber padecido molestias o dolores en los últimos tres meses, siendo la espalda, el cuello y el hombro izquierdo las zonas más afectadas. Estos hallazgos, entre otros, demuestran la importancia que tienen los TME en el contexto laboral actual.

Es importante reseñar que por la ausencia de datos oficiales sobre la prevalencia y severidad de las enfermedades y accidentes vinculados al trabajo, se realizan esfuerzos aislados, y se limita el beneficio que se puede obtener de un trabajo colaborativo entre todos los involucrados. En este sentido, para Wilton (citado en OIT, 2013a) deben unirse los esfuerzos de los diferentes actores del lugar de trabajo: organizaciones de empleadores y trabajadores, centros de prevención, inspectorías del trabajo y autoridades encargadas de velar por el cumplimiento de la ley.

Ciertamente el número de personas que constantemente se ven afectadas tanto por accidentes como enfermedades de origen laboral sigue siendo elevado y preocupante; por lo que resulta fundamental en primer lugar reconocer los riesgos, y en segundo lugar gestionarlos y controlarlos, y de esta forma prevenir su ocurrencia. La adopción de medidas orientadas a la seguridad y salud laborales redundará en la calidad del empleo y en un aumento de la productividad de la empresa, razón por la cual, una gran cantidad de países se han dedicado a actualizar sus políticas nacionales y sistemas normativos sobre salud y seguridad en el trabajo (OIT, 2010a).

Las enfermedades laborales, y en especial los TME, por la importancia que representan, se han convertido además en el interés de numerosos investigadores, quienes a través de sus estudios y experimentos buscan profundizar y ampliar los conocimientos sobre sus orígenes

y la manera de prevenirlos. No obstante, los conocimientos sobre la etiología de los TME continúan en discusión y no hay una teoría definitiva sobre los factores de riesgo predominantes en cada tipo de trabajo, la forma en que estos interactúan y la contribución de cada uno en la aparición del trastorno (Öztürk y Esin, 2011).

Tradicionalmente y aun en la actualidad muchos estudios sobre TME se han centrado en los factores ocupacionales relacionados a la demanda física del trabajo, tales como las posturas complicadas adoptadas por el trabajador, la repetitividad de movimientos, el levantamiento o transporte de materiales pesados y el uso de herramientas que generan vibraciones (Bell y Steele, 2012; Kirkhorn, Earle-Richardson y Banks, 2010; Nimbarte, 2014; Passier y McPhail, 2011; Roman-Liu, Groborz y Tokarski, 2013).

Sin embargo, los factores físicos no son los únicos que se les han vinculado a los TME, otros estudios han determinado que factores psicosociales e individuales también contribuyen en la aparición de los mismos (Farioli et al, 2014; Gilbert-Ouimet et al, 2011; Golubovich, Chang y Eatough, 2014; Heiden et al, 2013; Keerthi y Babski-Reeves, 2014; Meksawi, Tangtrakulwanich y Chongsuvivatwong, 2012; Patience y Derek, 2011). Dentro de los factores psicosociales se mencionan aspectos como el clima de seguridad laboral, las elevadas exigencias, la frustración en el trabajo y los bajos niveles de apoyo social, educación e ingresos, y que en general guardan relación con el stress laboral. Entre los factores individuales o personales se incluyen la edad, el sexo, la antigüedad laboral, el índice de masa corporal, el historial clínico previo y el uso de alcohol y tabaco.

Al respecto, la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo (2001), al referirse al reto que significa la búsqueda de soluciones eficaces y sostenibles que contrarresten los TME, plantea que deben continuar realizándose estudios que permitan aclarar los conceptos de los factores psicosociales y organizativos en el trabajo, con la finalidad de corroborar su vinculación con el riesgo de que los trabajadores padezcan este tipo de trastornos.

De esta forma, un estudio que busque profundizar en la etiología de los TME, debería considerar tantos factores relacionados a la carga biomecánica del individuo (demanda física) como aquellos factores suplementarios vinculados a aspectos psicológicos, sociales e individuales, de forma tal de no descartar a priori algún elemento significativo. Es por ello que los métodos utilizados comúnmente en el diagnóstico de este tipo de trastornos, tales

como el RULA (Rapid upper limb assessment), el REBA (Rapid entire body assessment) o el OWAS (Ovako working analysis system) (Aizat, Mohd y Hashim, 2009; Bell y Steele, 2012; Öztürk y Esin, 2011; Rodríguez, Medina y Manero, 2008; Velandia y Muñoz, 2004), resultan insuficientes para analizar todos los posibles factores que pudieran intervenir en su aparición, ya que son métodos que por lo general se enfocan a la evaluación puntual de un solo factor, generalmente vinculado a la demanda biomecánica del trabajo; además, no hacen una asociación directa con el fenómeno planteado.

Formulación del Problema

En la actualidad los TME continúan siendo una de las enfermedades ocupacionales más comunes en los trabajadores de distintos sectores industriales; sin embargo, la escasa disponibilidad de métodos o técnicas que integren todos los posibles factores que pudieran influir en la generación o agravamiento de este tipo de enfermedades, hace que en la mayoría de los casos sólo se analice la problemática desde una o muy pocas perspectivas, pudiendo limitar el impacto de las estrategias de prevención que se generen al respecto.

Por lo tanto, antes de generar e implementar cualquier estrategia que busque disminuir o prevenir los TME, es fundamental identificar los factores clave, y predecir, bajo qué condiciones, un trabajador tendrá mayor probabilidad de contraer una lesión de esta naturaleza, de forma que las acciones a emprender sean acertadas y se logren canalizar los esfuerzos en tiempo y dinero hacia aquellas tareas críticas. Keerthi y Babski-Reeves (2014) plantean que deben desarrollarse modelos predictivos que incluyan la interacción de los elementos significativos y que permitan predecir si una persona será víctima o no de la enfermedad.

De esta manera, surge la interrogante de investigación ¿Cuáles factores tienen un efecto relevante sobre la aparición de TME en tareas industriales del sector cárnico? ¿Cómo podría estructurarse un modelo que permita la predicción de TME en el sector de la industria cárnica, considerando los factores relevantes que la originan?

Objetivos

El objetivo general de la investigación es desarrollar un modelo para la predicción de trastornos musculoesqueléticos de origen laboral, en trabajos operativos de la industria de la carne.

Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar la prevalencia de síntomas musculoesqueléticos de origen laboral en tareas operativas de la industria de la carne.
2. Valorar los factores de riesgo físicos, psicosociales e individuales presentes en el trabajo, vinculados con trastornos musculoesqueléticos.
3. Seleccionar los factores de riesgo relevantes para la predicción de trastornos musculoesqueléticos en la industria de la carne.
4. Construir un modelo que permita la predicción de trastornos musculoesqueléticos de origen laboral en la industria de la carne.

Justificación de la Investigación

Los TME constituyen un tipo de enfermedad ocupacional recurrente en una gran diversidad de sectores industriales, entre otras cosas por su carácter multicausal, y porque en general, no es una enfermedad que surge de forma repentina, sino que se va desarrollando paulatinamente con el tiempo, provocada por el mismo trabajo o por el entorno en que se lleva a cabo. Estas características hacen que sea más difícil tanto para las empresas como para el estado, llevar datos fidedignos que cuantifiquen la verdadera magnitud del problema, pero se calcula que en los países en desarrollo entre el 50% y el 70% de la fuerza laboral pudieran estar expuestos a este tipo de peligro (Fontes, 2002). Agrega el autor que, a esta dificultad para llevar un buen sistema de notificación de accidentes y enfermedades ocupacionales, se suma la resistencia por parte de los empleadores de reconocer muchos de los problemas que se presentan, buscando evadir su responsabilidad ante las obligaciones y penalizaciones legales (como pagos de exámenes y tratamientos médicos, tiempos de reposo, multas e indemnizaciones); lo que contribuye a que gran parte de las normas de salud y seguridad resulten inadecuadas y se apliquen de forma deficiente.

No obstante, más allá de los datos estadísticos que se manejen, la incidencia de TME genera un impacto socioeconómico considerable tanto en los trabajadores como en los empleadores. En el caso del trabajador no solo hay un impacto directo representado por el dolor, la incomodidad y el sufrimiento que implica padecer la enfermedad y el deterioro de su salud, sino inclusive sobre su familia, representado por una disminución en la calidad de vida, disminución en la contribución a las actividades del hogar, pérdida de ingresos y hasta un impacto psicológico por el estrés que se puede generar cuando los efectos de la enfermedad se tornan irreversibles y se llega a un estado de discapacidad. Para los empleadores, se puede mencionar el costo que representan los gastos médicos del trabajador afectado, pérdida de producción durante el tiempo de recuperación, disminución en la productividad del trabajador luego de su reinserción, y disminución de la productividad de otros trabajadores cuyo trabajo está vinculado al trabajador afectado (Fontes, 2002).

De allí que todo estudio que permita seguir profundizando sobre los factores desencadenantes de los TME, más que importante, resulta necesario para lograr establecer una vinculación directa entre la enfermedad y las condiciones que rodean al trabajador y su lugar de trabajo; más aún en una época tan cambiante como la actual, donde el desarrollo tecnológico y de mercado se evidencia también en las tareas industriales, lo que hace que estos estudios se ameriten de forma permanente. En otras palabras, el conocimiento científico que se genere permitirá entender la etiología de los TME, y facilitar el desarrollo de estrategias de prevención efectivas para su reducción, y por consiguiente la generación de normas y directrices útiles.

Para la OIT (2013a), la prevención es la clave para hacer frente a cualquier tipo de enfermedad profesional, incluidos los relacionados al sistema musculoesquelético, además que resulta menos costosa que los tratamientos y la rehabilitación. Sin embargo, no basta con la aplicación de normas que regulen el peso levantado por el trabajador, que regulen la frecuencia de repetición del trabajo o que controlen la carga mental del trabajador, ya que la presencia de los trastornos de este tipo se origina por la sumatoria e interacción de factores de diferente índole, y son de naturaleza probabilística, por lo que la identificación y análisis previo de los factores significativos resulta fundamental en la efectiva prevención.

El fin último de la investigación es justamente, detectar de forma oportuna, aquellos escenarios o trabajos en los que se presenten los factores relevantes asociados a TME, dada la alta dimensionalidad del fenómeno, y de esta forma propiciar el desarrollo de algún tipo de atención e intervención efectiva que ayude a evitar o disminuir las lesiones musculoesqueléticas; en otras palabras, identificar a los trabajadores que encuentran en riesgo latente de contraer TME, aun cuando estas personas se encuentren saludables, desde el punto de vista musculoesquelético, en la actualidad.

Adicionalmente, se puede mencionar la importancia desde el punto de vista legal, ya que en Venezuela la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente del Trabajo (INPSASEL) contempla el objetivo primordial de establecer las normas y lineamientos que permitan garantizar a los trabajadores, condiciones de seguridad, salud y bienestar que prevengan los accidentes de trabajo y las enfermedades profesionales (Asamblea Nacional, 2005). En este sentido, el producto que se genere a partir de la investigación planteada representa una herramienta que contribuirá a que las empresas cumplan con lo dispuesto en la ley, y eviten las sanciones establecidas en la misma.

Desde el punto de vista metodológico, el proyecto podrá constituir una guía referencial para el desarrollo de estudios similares, que pretendan el análisis ergonómico de operaciones industriales en las que se presenten TME. En este sentido, los instrumentos y técnicas de recolección de datos a utilizar, la metodología a seguir y hasta el procesamiento y análisis de los datos, se espera puedan representar aportes metodológicos importantes que den apertura a la formulación de nuevos proyectos y a la creación o fortalecimiento de líneas de investigación en el área.

El uso de técnicas de reconocimiento de patrones, en la predicción de fenómenos epidemiológicos, como lo son los TME, representa una contribución metodológica novedosa, específicamente lo que respecta al uso de algoritmos de clasificación y predicción basados en árboles de decisión, funciones, reglas de clasificación, entre otros. Así mismo, la utilización de métodos de selección de variables basados en correlaciones y consistencias, siguiendo algoritmos heurísticos de búsqueda de soluciones, también representan un aporte metodológico en la selección de variables relevantes asociados a un determinado fenómeno, en este caso a la aparición de TME. Este tipo de herramientas de

minería de datos se han usado tradicionalmente en otros aspectos como la segmentación de consumidores, modelado de negocios o análisis de créditos, por lo que, a través de investigaciones como la aquí presentada, se puede demostrar la gran utilidad que tiene, en otras problemáticas reales como las vinculadas a la ergonomía, más aun, en la actual sociedad de la información, caracterizada por una generación incesante de datos.

A nivel teórico, la investigación también ofrece importantes aportes, no sólo por los hallazgos encontrados en cuanto a los factores relevantes relacionados con los principales tipos de TME y su modelación, sino a través de la revisión bibliográfica realizada en la que destaca una revisión de los distintos modelos teóricos sobre el proceso de generación de TME, desde aquellos que plantean una causalidad simple hasta los que presentan una etiología multicausal, a partir de los cuales se establecieron sus principales semejanzas y carencias, punto de partida de la investigación.

Alcance y Limitaciones del Trabajo

La investigación planteada se ubica dentro del área de la ergonomía, que es la disciplina científica concerniente a la comprensión de las interacciones entre los seres humanos y otros elementos de un sistema, para la adecuación de los productos y entornos artificiales a las necesidades, limitaciones y características de sus usuarios, optimizando a su vez la eficacia, la seguridad y el bienestar (Asociación Española de Ergonomía, s.f.; International Ergonomics Association, IEA, 2014). Específicamente, la investigación está orientada al estudio de los factores que contribuyen en mayor medida, en la generación de TME, por lo que se enfoca principalmente al ámbito de la ergonomía física, referida a las características anatómicas, antropométricas, fisiológicas y biomecánicas humanas relacionadas con la actividad física (IEA, 2014), aunque también se tendrá vinculación a aspectos de la ergonomía cognitiva y organizacional, en especial, en aquellos factores de riesgo psicosociales y organizativos que pudieran tener relación con el fenómeno en estudio.

En esta integración de factores físicos, psicosociales y personales, como medio para predecir la aparición de molestias de tipo musculoesqueléticos en trabajadores industriales, radica el principal aporte de esta investigación; especialmente en la determinación de los factores relevantes asociados a diferentes tipos de TME, y su relación, lo cual permitió la construcción de modelos matemáticos predictivos.

Dentro de los equipos y herramientas utilizados en la investigación sobresalen los siguientes: dinamómetro digital de tensión y compresión con un rango de 0 a 100 Kg, balanza digital, cámara de video, cinta métrica, cronómetro digital. En cuanto a las bases de datos y buscadores empleados en la búsqueda de artículos, ponencias y tesis relacionados con la presente investigación y que permitieron construir el estado del arte presentado y la discusión de resultados, resaltan: DOAJ (Directory of Open Access Journals), Emerald, Dialnet, Redalyc (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal), ProQuest, EBSCO, REVENCYT (Revistas de Ciencia y Tecnología en Venezuela); a los cuales se accedió con búsquedas en idioma español e inglés. También se realizaron búsquedas directamente en las páginas de las propias revistas científicas vinculadas al área, tanto nacionales como internacionales.

Por otro lado, para la recopilación de los datos requeridos en el estudio, se tomaron como referencia empresas representativas de la industria cárnica, en las que se consideraron a trabajadores sin distingo de género, edad y experiencia. El sector industrial dedicado a la producción, procesamiento y conservación de carnes y productos cárnicos es especialmente susceptible a la aparición de TME en sus trabajadores, debido posiblemente a: la existencia de tareas con un alto contenido manual, la manipulación manual de materias primas y productos pesados, altos volúmenes de producción y a una alta concentración requerida en el trabajo. De hecho, muchas de los TME relacionados al trabajo están asociados a las extremidades superiores y por consiguiente a tareas con alto contenido manual (Cort y Potvin, 2011). Dentro de los factores de riesgo ergonómico, considerados y evaluados en la investigación, se exceptuaron los referentes al ambiente o entorno del trabajo, tales como iluminación, ruido, ventilación, entre otros, ya que de acuerdo a la revisión bibliográfica realizada, no se encontró una vinculación importante entre estos factores y los TME.

Una de las principales limitaciones de la investigación estuvo dada por la reacia cooperación y disposición de algunos trabajadores al momento de llevar a cabo la recolección de los datos, ya que, a pesar de que se trataba de técnicas o métodos no invasivos, igualmente implicaban de la colaboración del personal de la empresa para garantizar la veracidad de la información y alcanzar un tamaño de muestra representativo. Al respecto, para solventar ésta limitación, se dedicó el tiempo necesario para informar y formar claramente a los trabajadores con relación a los objetivos de la investigación, la

metodología a seguir y la magnitud y uso de los resultados esperados, haciendo especial énfasis en la participación que tendrían en cada fase del desarrollo del trabajo. Además, se contó con la indispensable colaboración de los supervisores de seguridad y salud laboral de las respectivas empresas, para lograr el apoyo requerido de parte de los trabajadores y delegados de prevención.

Otra de las limitaciones de la investigación fue la reducida disponibilidad de equipos especializados requeridos para la medición de algunos parámetros, como fue el caso del dinamómetro utilizado para la medición de las fuerzas iniciales y sostenidas, necesarias en la evaluación de las actividades de empujes y arrastres de cargas; en este sentido, se contó con el apoyo directo del tutor de esta investigación, tanto en el préstamo del equipo como en el adiestramiento que implica su uso adecuado. Adicionalmente, se contó con el apoyo de las empresas en el préstamo de instrumentos menores tales como cintas métricas y balanzas.

Una limitación adicional estuvo representada por el restringido acceso a publicaciones científicas importantes relacionadas con el tema. Para ello, además de la búsqueda de investigaciones en revistas y directorios de acceso abierto, se emplearon las bases de datos a las que se encuentra suscritas Universidades como la UNET y la UC; así mismo, se contó con el apoyo de pares investigadores que se encontraban realizando estudios de quinto nivel con acceso a otros directorios o bases de datos.

CAPÍTULO II

MARCO DE REFERENCIA

La revisión teórica referencial de la investigación se sintetiza en el presente capítulo, el cual comprende dos grandes tópicos: el sistema musculoesquelético humano y la extracción de conocimiento a partir de datos. El primer tema se estructura en seis apartados diferentes, iniciando con una revisión sobre el sistema musculoesquelético humano y sus componentes tales como: huesos, músculos, tendones, ligamentos, articulaciones y nervios; en el segundo apartado, se exponen los aspectos más importantes relacionados con los TME relacionados con el trabajo y su clasificación, los cuales constituyen el objeto de estudio de la disertación. Seguidamente, en el tercer apartado, se incluye las formas más comunes de detección de síntomas relacionados con TME, haciendo énfasis en el cuestionario nórdico estandarizado y la escala de malestar del cuerpo. En el cuarto apartado se realiza una revisión de los principales modelos teóricos que explican el proceso de generación de los TME. Luego, en el quinto apartado, producto de la revisión de antecedentes, se identifican los principales factores de riesgo asociados al desarrollo de TME; y finalmente, se realiza una descripción de los métodos disponibles más comúnmente utilizados en la evaluación de los referidos factores de riesgo, entre ellos: RULA, NIOSH, ERGO, OCRA e ISTAS21.

El segundo gran tópico del capítulo está referido a la extracción de conocimiento a partir de datos, lo cual marca la orientación metodológica de la investigación, específicamente en lo relacionado a la construcción y validación del modelo predictivo propuesto. En un primer apartado se describe el esquema general recomendado para llevar a cabo este proceso, que incluye: la definición del problema, el pre-procesamiento de los datos, la

minería de datos y la fase de post minería de datos. Luego, en un segundo apartado se describe la plataforma de software Weka utilizada como apoyo al desarrollo del modelo, haciendo especial énfasis en la elucidación de las principales técnicas y algoritmos empleados en la fase de selección de factores relevantes, los métodos de clasificación considerados para la construcción del modelo, y las medidas de evaluación o validación del modelo construido.

Sistema Musculoesquelético Humano

El sistema musculoesquelético es el sistema encargado del movimiento del cuerpo humano, el cual se conforma básicamente por huesos, músculos, articulaciones, tendones, ligamentos, nervios y vasos sanguíneos.

Huesos

Los huesos junto a los cartílagos constituyen los principales componentes del esqueleto; se trata de un tejido conectivo que no solo cumple una función mecánica de servir como palancas para la función locomotora, sino que además representan un importante enlace con el metabolismo mineral interno, almacenando o liberando sustancias como calcio, fósforo magnesio y sodio, en función de las necesidades; sin embargo, el grado de deformación de los huesos es muy pequeño, lo que los hace frágiles ante cargas muy grandes. A pesar de la dureza que caracteriza individualmente a los huesos, el esqueleto como conjunto posee una gran flexibilidad que le permite una importante gama de movimientos; entre las principales funciones que cumple el esqueleto se encuentran la protección de los órganos internos y la de servir de anclaje para los músculos y de sostén del cuerpo.

Según su forma, los huesos pueden clasificarse en: largos, cortos, planos e irregulares (ver Figura 1). En los huesos largos predomina la longitud sobre la anchura, tal como en el fémur o el húmero; los huesos cortos son de forma cuboide y están representados por los huesos del carpo y del tarso; los huesos planos tienen poco espesor, son aplanados y ligeramente curvos, tales como el omóplato y la pelvis; finalmente los huesos irregulares están representados fundamentalmente por las vértebras de la columna (González, 2007; Izquierdo, 2008; Le Vay, 2008; Pérez A., 2004; Salter, 2000).

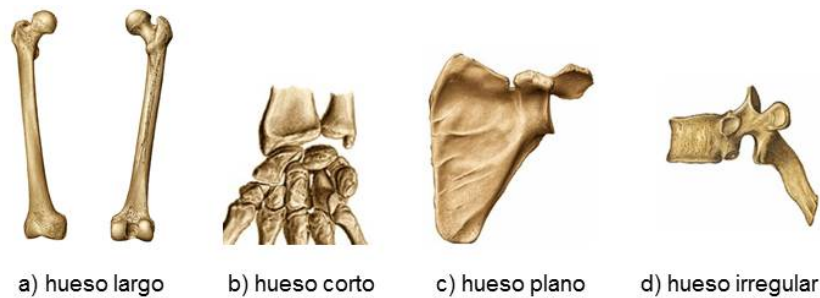


Figura 1. Huesos

Músculos

Los músculos constituyen entre el 40 y 45% de la masa corporal y son los responsables de proporcionar movimiento activo al esqueleto articulado, mediante la transformación de la energía química disponible en energía mecánica. Los músculos, de los que hay cerca de 400 en el cuerpo humano, poseen la propiedad de la contractilidad, que les permite bien su acortamiento para producir movimiento (contracción heterométrica concéntrica), resistir su alargamiento para impedir la movilidad (contracción isométrica), o permitir el alargamiento manteniendo la tensión (contracción heterométrica excéntrica). La función principal del músculo es generar potencia, transferirla a los tendones y provocar el movimiento del esqueleto; aunque también contribuye en la absorción de los impactos y la estabilización de las articulaciones, junto a los tendones (González, 2007; Izquierdo, 2008; Le Vay, 2008; Salter, 2000).

El músculo está formado por una membrana de tejido resistente que envuelve las fibras musculares, que son de forma alargada, delgada y filiforme, externamente, el tamaño, la forma y estructura de los músculos varían de acuerdo a su función y necesidad mecánica. Según su estructura, los músculos pueden clasificarse como: estriados o esqueléticos, de contracción voluntaria y en su mayoría se encuentran recubriendo el esqueleto; lisos, de contracción involuntaria, sin estrías transversales, forman la pared de arterias, vísceras y órganos de secreción; y finalmente, cardíaco, referido a la musculatura del miocardio, estriado y de contracción involuntaria (ver Figura 2).



Figura 2. Músculos

De acuerdo a su rol en el movimiento, el músculo pueden ser: agonista, cuando es el encargado del movimiento; antagonista, cuando realiza el movimiento opuesto al agonista; neutralizador, si se encarga de neutralizar a otro músculo o componente cuyo movimiento no se desea; y fijador, cuando interviene en la inmovilización de ciertos segmentos.

Tendones

Los tendones son tejidos de color blanco perlado y de consistencia fuerte, compuestos principalmente por fibras de colágeno en un 80 o 90% que permiten la unión entre los huesos y los músculos (ver Figura 3). Las fibras de colágeno están dispuestas de forma paralela y longitudinal a la dirección del músculo, se encuentran envueltas por tejido conectivo para facilitar el movimiento.



Figura 3. Tendón

Las fibras de colágeno del tendón se unen a las fibras musculares mediante la unión musculotendinosa, y se unen al hueso por medio del fibrocartílago o unión osteotendinosa. De esta forma, los tendones transfieren la fuerza generada por los músculos hacia el esqueleto, de ahí que su principal función es ayudar en la generación de movimiento, además de contribuir a absorber energía y estabilizar las articulaciones (Izquierdo, 2008).

Los tendones pueden estar recubiertos por una estructura denominada vaina sinovial; por lo que desde este punto de vista pueden distinguirse dos tipos de tendones. Los tendones sin vaina sinovial se localizan en regiones que requieren poca fricción, mientras que los tendones con vaina sinovial se ubican en zonas con alta fricción. Las vainas sinoviales segregan hacia su interior una especie de líquido lubricante denominado líquido sinovial

que permite disminuir el roce durante el movimiento, facilitando así el deslizamiento del tendón (Putz, 1988).

Sin embargo, la vaina sinovial no es el único elemento que puede recubrir al tendón. De acuerdo a Ippolito y Postacchini (citado en Jurado y Medina, 2008) es posible diferenciar cinco categorías de elementos extratendinosos: vainas sinoviales, vainas fibrosas, poleas de reflexión, vainas peritendinosas y las bursas o bolsas. Las vainas sinoviales, como ya se mencionó, son recubiertas por las que los tendones acceden al hueso u otras estructuras que originan fricción sobre el tendón. Las vainas fibrosas son conductos por medio de los cuales los tendones se deslizan; se encuentran en aquellos tendones que requieren de un trayecto largo para alcanzar su punto de inserción. Las poleas de inserción son refuerzos anatómicos de las vainas fibrosas que se ubican en segmentos curvos del tendón. Las vainas peritendinosas aparecen cuando el tendón requiere disminuir el roce pero no cuenta con una vaina sinovial propiamente dicha. Las bursas son pequeñas bolsas localizadas entre dos estructuras contiguas e igualmente su papel es el de reducir la fricción, funcionando como amortiguadores.

El estiramiento del tendón depende del tipo de cargas a la que es sometido; una carga repetida de manera intermitente origina una deformación menor en el tendón, mientras que una carga de tipo progresiva y mantenida en el tiempo origina una deformación mayor (Izquierdo, 2008). El tendón puede soportar una fuerza tensil entre 49 y 98 N/mm de sección, y puede ser estirado hasta el 4% de su longitud en reposo, volviendo a recobrar su longitud original cuando termina la tensión aplicada. Además, es importante señalar que las propiedades mecánicas del colágeno de los tendones se ven afectadas por el envejecimiento, lo que genera una mayor rigidez del tendón y una disminución en su capacidad de estiramiento (Jurado y Medina, 2008).

Ligamentos

A diferencia de los tendones, que unen músculos con huesos, los ligamentos unen huesos adyacentes entre sí, especialmente entre aquellos que forman articulaciones, ofreciendo estabilidad y cumpliendo un papel importante dentro del sistema musculoesquelético (ver Figura 4). Están formados básicamente por fibras de colágeno, glucoproteínas y células; en

este caso, las fibras de colágeno pueden tener una orientación longitudinal, paralela, oblicua o en espiral, dependiendo de su función en particular (Izquierdo, 2008).

Los ligamentos, dependiendo de su ubicación, pueden ser intraarticulares, extraarticulares o intracapsulares, y sus funciones principales son la transmisión de cargas y la estabilización pasiva de las articulaciones. Los puntos de unión entre los ligamentos (e inclusive los tendones) y el hueso son tan fuertes que ni siquiera grandes fuerzas de tracción pueden separarlos, lo que ocurre en cambio, es el desgarre del ligamento o la remoción de un fragmento del hueso con el ligamento. Por el contrario, la falta de tracción o inmovilidad prolongada de la articulación ocasiona debilitamiento progresivo del ligamento y de su punto de unión con el hueso, requiriéndose períodos de movilidad de 6 a 12 meses hasta recuperar su resistencia original (Salter, 2000).



Figura 4. Ligamento

Articulaciones

Las articulaciones son las uniones lubricadas entre los huesos para permitir su movimiento, además de constituir regiones de crecimiento constante. De acuerdo a su movilidad, las articulaciones pueden ser de tres tipos: sinartrosis, anfiartrosis y diartrosis. Sinartrosis son articulaciones inmóviles (o con una movilidad muy limitada) y rígidas, que se mantienen unidas por el crecimiento del hueso o por un cartílago o tejido fibroso resistente, tal es el caso de los huesos del cráneo. Anfiartrosis son articulaciones semimóviles, cartilaginosas, formadas por dos superficies articulares planas o cóncavas recubiertas de cartílago articular y conectadas mediante un ligamento fibroso y unos ligamentos periféricos, como es el caso de los cuerpos vertebrales. Diartrosis son articulaciones móviles, sinoviales, formadas por dos superficies lisas separadas por una cavidad, poseen cartílago articular y se encuentra rodeada de una cápsula; esta cápsula está

reforzada por ligamentos e interiormente recubierta por la sinovial, tal como en el codo. Estos últimos constituyen las articulaciones más numerosas del esqueleto (ver Figura 5).

La mayoría de las superficies articulares están envueltas por una película de cartílago hialino de 1 a 5 cm de espesor; de allí que de los tres tipos de cartílago articular existente (elástico, hialino y fibrocartílago), el hialino es el principal; su papel fundamental, junto al líquido sinovial, es facilitar el deslizamiento de las articulaciones, y por ende del movimiento. El cartílago es capaz de deformarse reduciendo la concentración de carga y aumentando su área de soporte; es decir, cuando soporta la carga se comprime, y cuando la carga desaparece, se expande nuevamente a su forma original (González, 2007; Izquierdo, 2008; Salter, 2000).

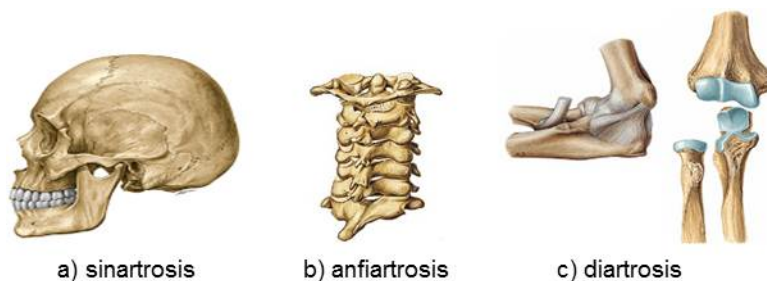


Figura 5. Articulaciones

Nervios

El sistema nervioso puede considerarse como una unidad indivisible conformada por un conjunto de estructuras centrales y periféricas interconectadas, mediante el cual se convierten estímulos en sensaciones. De esta manera, por medio de la acción de los nervios periféricos motores que inervan los músculos, se controla el movimiento; es decir, los nervios son los encargados de conectar los músculos y órganos periféricos con el cerebro. En términos generales, el sistema nervioso se subdivide en sistema nervioso central, formado por el encéfalo y la médula espinal, y el sistema nervioso periférico, constituido por receptores, nervios, ganglios autonómicos y ganglios sensitivos (Escobar y Pimienta, 2006).

Por lo tanto, los nervios periféricos son aquellos que se encuentran fuera del cerebro y la médula espinal, y están conformados por una unidad básica llamado axón, envueltos por células de Schwann, productoras de mielina y diversas cubiertas conjuntivas. La agrupación

de axones forma la fibra nerviosa (cubierta por el endoneuro); luego, la agrupación de fibras nerviosas da lugar al fascículo (cubierto por el perineuro); y la agrupación de fascículos forma el nervio periférico (cubierto por el epineuro), según se aprecia en la Figura 6 (Pérez A., 2004).

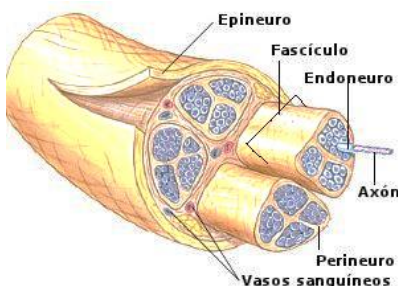


Figura 6. Nervio periférico

Trastornos Musculoesqueléticos Relacionados con el Trabajo

Definición

Los trastornos o desórdenes musculoesqueléticos 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. Al respecto, López y Cuevas (2008) señalan que estas patologías surgen cuando se sobre exige una determinada estructura y se excede el período de recuperación viscoelástico necesario de los tejidos demandados; lo cual es causado generalmente por un esfuerzo mecánico excesivo de estas estructuras biológicas, es decir, cuando se experimenta fuerzas directas o de torsión muy intensas (Organización Mundial de la Salud, 2004).

Por lo tanto, el término de desórdenes musculoesqueléticos relacionados con el trabajo se refiere a aquellos que son causados, agravados o acelerados por el ambiente laboral y la realización del trabajo; es decir, pueden asociarse a determinadas condiciones de trabajo (Chandna, Deswal y Pal, 2010).

Attwood, Deeb y Danz (2004) explican que pueden distinguirse dos categorías de TME, dependiendo del evento que lo causa, por lo que pueden ser: causados por traumas agudos, como resbalones o caídas, y causados por exposición repetida a un tipo de actividad física; estos últimos son llamados también desórdenes traumáticos acumulativos y constituyen el

interés de la presente investigación. 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).

Además del largo período de desarrollo que suelen caracterizar a este tipo de patologías, Flores y Bastías (2011) identifican otras particularidades como su etiología multifactorial que incluye actividades ocupacionales y no ocupacionales, un período de recuperación igualmente largo que pudiera ser incompleto, y que por lo general resultan involucrados los sistemas músculo-tendón. 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 discapacidad (Almagro et al, 2009; Chandna et al, 2010)

En la literatura es posible encontrar diversos términos para referirse a la misma patología, entre ellos se encuentran: desorden traumático acumulativo, lesión por esfuerzo repetitivo, síndrome por sobreuso, problemas musculoesqueléticos o trastornos musculoesqueléticos. La Organización Internacional del Trabajo en la clasificación de enfermedades profesionales, las denomina enfermedades del sistema osteomuscular (OIT, 2010b); mientras que el INPSASEL emplea el término de trastornos musculoesqueléticos (Ministerio del Poder Popular para el Trabajo y Seguridad Social, 2008). En la presente investigación, aunque no se realizará ninguna diferenciación entre una u otra terminología, se utilizará principalmente la establecida por el INPSASEL, para referirse a los trastornos vinculados al trabajo.

Clasificación

Existen diversos criterios para clasificar los trastornos musculoesqueléticos dependiendo del autor, del interés del estudio o de la finalidad con que se realice la tipología; dentro de estos criterios sobresalen dos: en función de la región o parte del cuerpo afectada y en función de la estructura del sistema musculoesquelético afectada.

Dentro de la primera forma de clasificación, en función de la zona del cuerpo involucrada, pueden mencionarse las lesiones dorso-lumbares, de cuello, hombro-brazo, codo-antebrazo, mano-muñeca, cadera, pierna-rodilla o pie; o inclusive puede agruparse varias de ellas y hacer referencia por ejemplo a lesiones de extremidades superiores (Flores y Bastías, 2011; Zorrilla, 2012). De acuerdo a la segunda forma de clasificación, en función del elemento o

estructura anatómica del sistema musculoesquelético humano, se pueden tener lesiones de tendones, de ligamentos, de los nervios, musculares, vasculares o neurovasculares, óseas, y lesiones a nivel articular, capsular y de las bolsas sinoviales (Attwood et al, 2004; Putz, 1988; Zorrilla, 2012).

No obstante, para González-Maestre (citado en Asensio, Bastante y Diego, 2012) las patologías musculoesqueléticas, atendiendo al elemento dañado, se clasifica en: patologías articulares, periarticulares y óseas. Las primeras se refieren a afecciones en las articulaciones, como consecuencia del mantenimiento de posturas forzadas o al uso excesivo de la articulación, tales como la artrosis y la artritis; las patologías periarticulares se refieren a reumatismos de partes blandas, e incluyen las lesiones de tendones, ligamentos, ganglios, mialgias, contracturas y hasta desgarros musculares; las patologías óseas abarcan todas las lesiones sobre los huesos. Esta clasificación representa otra forma de categorizar las distintas estructuras involucradas, de forma más compacta, pero pareciera dársele más importancia a las articulaciones y a los huesos que al resto de los componentes del sistema, donde se ubican la mayoría de los casos en la epidemiología ocupacional.

Retornando a la clasificación anterior, a continuación se detallan las patologías más recurrentes dentro de cada categoría.

1. Trastornos a nivel óseo.

Las lesiones o fracturas a nivel óseo pueden clasificarse dependiendo de la magnitud y frecuencia de la carga que la origina. De esta forma, pueden diferenciarse dos tipos de fracturas: agudas o por traumatismo y por fatiga o sobreuso. Las fracturas por traumatismo se producen por una gran sobrecarga transmitida en un momento dado, generalmente causada por un golpe o caída; puede ser directa o indirecta. Las fracturas por fatiga o sobreuso se originan por cargas transmitidas en forma intermitente y continuada en el tiempo, generalmente cuando el músculo se fatiga y no puede evitar que las cargas recaigan sobre la estructura ósea.

Por otro lado, dependiendo de la gravedad de la lesión, las fracturas pueden presentarse de tres formas: como una línea de interrupción simple sin que se produzca la separación de las dos partes del hueso (fisura), como una interrupción más grande que involucra todos los elementos del hueso (fractura cerrada), o como una interrupción aun mayor que incluye no

sólo el tejido óseo sino sus partes blandas circundantes y la piel, ocasionando una exposición externa (fractura abierta) (Izquierdo, 2008; Pérez A., 2004).

Otro modo de clasificar las fracturas óseas es en función del tipo y dirección de las fuerzas aplicadas. Así, se tienen: fracturas por compresión, cuando la fuerza se ejerce en el eje del hueso, comprimiéndolo; fracturas por tracción, debido al arrancamiento de la inserción del hueso con un músculo, tendón o ligamento; fracturas por flexión, cuando la fuerza actúa perpendicularmente al eje del hueso; fracturas por rotación, por la acción de dos fuerzas de rotación contrarias; fracturas por cizallamiento, debido a la acción de dos fuerzas perpendiculares y opuestas en dos zonas cercanas del hueso; y finalmente, fuerzas por sobrecarga o estrés, ocasionadas por pequeños traumatismos reiterados en el tiempo.

Es importante señalar que una lesión ósea puede generar daños colaterales en otras estructuras del sistema musculoesquelético cercanas (nerviosas, vasculares, musculares, tendinosas). En cuanto a la sintomatología, puede señalarse que además del desplazamiento o deterioro del hueso característico de una fractura, se presenta dolor, inflamación, hematoma e incapacidad funcional (Pérez A., 2004).

2. Trastornos musculares.

A pesar de la propiedad de contracción que le da una ventaja mecánica importante, el músculo es vulnerable a lesiones, especialmente cuando las cargas a las que es sometido superan las capacidades fisiológicas del mismo; de esta forma, las lesiones musculares pueden generarse mediante un mecanismo directo, mecanismo indirecto o por sobrecarga o sobreuso. No obstante, la compleja estructura del músculo hace que este reaccione mediante distintos mecanismos: atrofia, hipertrofia, necrosis, contractura o regeneración (Salter, 2000).

Desde el punto de vista anatomopatológico, Pérez A. (2004) identifica los siguientes tipos de lesiones musculares: contusión muscular, originado por un traumatismo local directo; contractura, distensión o elongación muscular, dado bien por una excesiva tensión en la contracción muscular o por un traumatismo indirecto; desgarró-rotura fibrilar, debido a una lesión parcial en sentido longitudinal o transversal a las fibras; rotura total del músculo; hematoma muscular; fibrosis muscular; lesiones musculares cerradas, y lesiones musculares

abiertas. Generalmente, las lesiones van acompañadas de dolor agudo localizado, incapacidad funcional y en algunos casos hematomas.

No todas las lesiones musculares son producto de un traumatismo, sino que pueden presentarse por la exposición prolongada del músculo a cargas que superan sus capacidades, originando microtraumas musculares que lo hacen inflamarse, o debido a un estiramiento brusco o a contracciones concéntricas; además, las lesiones musculares son más propensas cuando el músculo está fatigado (Attwood, Deeb y Danz, 2004). Justamente este tipo de lesiones representan el interés de la investigación, dado que las lesiones por traumatismo son más difícil de pronosticar.

Dentro del tipo de lesiones musculares más comunes se encuentran la contractura muscular, el síndrome del dolor miofascial, la miositis osificante, la tensión muscular cervical y la lumbalgia mecánica (Zorrilla, 2012).

3. Trastornos de los tendones.

Aunque los tendones cumplen la función de transmitir fuerza, cuando las cargas soportadas superan sus capacidades fisiológicas de estiramiento, pueden lesionarse. Izquierdo (2008) señala que las lesiones tendinosas pueden ser de varios tipos: por un traumatismo directo, por laceración profunda, por ruptura, por desinserción o por fricción. La rotura y desinserción están asociadas a contracciones musculares muy intensas, en las que se sobrepasan los límites de estiramiento del tendón; se presentan de forma inesperada sin síntomas previos. La fricción se vincula más a lesiones por sobreuso, relacionado a problemas degenerativos; en el que la acumulación de pequeños microtraumas producidos en el tendón no permite que se autorregene adecuadamente.

Adicionalmente, estos autores explican que la inflamación que se produce luego de un traumatismo agudo se le llama tendinitis, pero cuando la lesión es por sobreuso y además se produce pérdidas significativas de colágeno, desorganización de las fibras, disminución de la cantidad de células, detrimento vascular o inclusive calcificaciones se le conoce como tendinosis o tendinopatía.

Por su parte, Jurado y Medina (2008) plantean distintas formas de clasificar las lesiones tendinosas. De acuerdo a la naturaleza u origen de la lesión puede ser traumática o por sobreuso; en función del tiempo de evolución transcurrido se tiene tendinopatía aguda o

tendinitis (< 2 semanas), tendinopatía subaguda (4 a 6 semanas), y tendinopatía crónica o tendinosis (> 6 semanas). Una tercera forma de clasificación es desde el punto de vista histopatológico (ver Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación histopatológica de las lesiones tendinosas

Diagnóstico patológico	Patología macroscópica	Datos histológicos
Tendinosis	Degeneración intratendinosa debida a microtraumatismo, deterioro vascular o edad.	Desorientación y desorganización del colágeno, neovascularización y celularidad aumentada.
Tendinitis	Degeneración sintomática del tendón con rotura vascular y respuesta inflamatoria.	Proliferación fibroblástica, hemorragia y organización del tejido de granulación.
Tenosinovitis	Inflamación de la capa externa del tendón.	Degeneración mucoide en el tejido areolar.
Tenosinovitis con tendinosis	Paratendinitis asociada con generación intratendinosa.	Cambios degenerativos con degeneración mucoide con o sin fibrosis y células inflamatorias.

Fuente: Jurado y Medina (2008)

Por lo tanto, desde el punto de vista de la parte del tendón afectada, se tiene que si la lesión ocurre en la vaina del tendón, se trata de una tenosinovitis; si sucede en las bursas, se denomina bursitis; y si la lesión se produce en el cuerpo del tendón, puede tratarse de una tendinitis (inflamación) o tendinosis (degeneración).

Las lesiones tendinosas pueden tener su origen en factores intrínsecos, propios del individuo (factores genéticos pueden predisponer a la lesión), en factores extrínsecos o en una combinación de ambos (multifactorial). Dentro de los causantes intrínsecos se encuentran la edad, el sexo, el grupo sanguíneo y la isquemia. Entre tanto, los principales factores extrínsecos son el sobreuso repetitivo, la duración o intensidad excesiva, déficit de adaptación fisiológica o una recuperación insuficiente (Jurado y Medina, 2008).

Los trastornos menores de los tendones y sus vainas son muy comunes, y los mismos suelen ocurrir en las articulaciones o alrededor de ellas, donde rozan los tendones cerca de ligamentos y huesos. Los síntomas más comunes percibidos por los afectados involucran una sensación de dolor sobre el tendón, malestar ante ciertos movimientos específicos,

debilidad e impotencia funcional, sensibilidad al tacto, y rara vez, enrojecimiento sensible o calor local. La recuperación suele ser lenta y la condición puede convertirse en crónica si no se elimina la causa (Attwood et al, 2004; Putz, 1988).

Dentro de las patologías tendinosas más comunes se encuentran la tendinopatía aquilea, bursitis de pie, tendinopatía rotuliana (rodilla del saltador), bursitis de rodilla, síndrome de fricción de la banda iliotibial, tendinopatía inguinal, bursitis de cadera, tendinopatías del hombro (síndrome de atrapamiento o impingement subacromial, tendinitis de hombro, tendinitis de supraespinoso, tendinitis bicipital, tendinitis escápulo-humeral, tendinitis de la cabeza larga del bíceps braquial), bursitis de hombro, tendinopatías del codo (epicondilalgias, tendinitis de codo), bursitis de codo, tendinopatías de mano y muñeca (tendisinovitis de De Quervain) (Flores y Bastías, 2011; Jurado y Medina, 2008; López y Cuevas, 2008; Mondelo et al, 2001).

4. Trastornos de los ligamentos.

Las lesiones ligamentosas o esguinces se presentan cuando las cargas aplicadas sobre una articulación estiran los ligamentos por encima de su capacidad fisiológica, produciéndose una deformación permanente (distensión) o inclusive su ruptura; de esta manera, el ligamento pierde parte de sus propiedades mecánicas, haciendo más inestable la articulación. En general, puede presentarse cuatro tipos principales de lesiones de ligamentos de acuerdo a la parte perjudicada: el primero es la distensión o rotura de las fibras ligamentosas debido a una carga brusca que excede el límite máximo de soporte; el segundo se presenta cuando ocurre un desprendimiento óseo próximo a la unión entre este y el ligamento; el tercero es la desinserción ligamentosa (poco frecuente); y el cuarto se refiere a las lesiones por sobreuso, que se presenta cuando una articulación es sometida a movimientos o cargas repetidas hasta llegar a su límite, lo que desencadena en un debilitamiento del ligamento por microtraumas (poco frecuente) (Izquierdo, 2008).

Sin embargo, clínicamente suelen clasificarse los esguinces en tres grados: esguince grado I referido a la elongación o distensión de las fibras sin producirse su rotura ni arrancamiento; caracterizado por un dolor leve, inflamación y edema pequeño e incapacidad funcional leve que permite la movilización. El esguince grado II se determina cuando se genera desgarró o rotura parcial de las fibras; se presenta dolor notable, inflamación y edema moderado e

incapacidad funcional relativa que dificulta el apoyo. El esguince grado III se diagnostica cuando hay desgarro o rotura total de las fibras, pudiéndose originar hasta rotura ósea; en este caso el dolor es intenso, inflamación y edema llamativo con gran hematoma local, e incapacidad funcional absoluta que impide totalmente el apoyo (Pérez A., 2004).

Desde el punto de vista de la parte del cuerpo afectada, puede presentarse lesiones ligamentosas de tobillo, rodilla, muñeca, codo, hombro o espalda, siendo las más comunes las lesiones de tobillo y muñeca.

5. Trastornos de las articulaciones.

A pesar de que las articulaciones, y en especial los cartílagos, se ven beneficiados por la actividad física, el sobreuso vinculado a repetidas y exigentes sobrecargas puede ocasionar desgaste articular, imposibilitando el funcionamiento de la articulación. Así mismo, las cargas de impacto repetidas que sobrepasan los límites fisiológicos del cartílago, desencadenan en inflamación y daños estructurales del mismo, pudiéndose inclusive fracturar o fisurar; también las contusiones agudas pudieran ser causantes de las lesiones o fracturas del cartílago hialino. Las lesiones a nivel de la superficie articular traen como consecuencia una degeneración progresiva de la articulación, produciendo dolor e impidiendo el movimiento, dando lugar a la artrosis, aunque también puede originarse por la inmovilidad o inactividad prolongada de la articulación (Izquierdo, 2008).

Es importante resaltar que debido a la escasa irrigación sanguínea y contenido celular del cartílago, su capacidad de regeneración luego de una lesión es muy limitada; por lo que su reacción ante las adversidades se limita a alguna de las siguientes formas: destrucción, degeneración o proliferación periférica (Salter, 2000).

6. Trastornos de los nervios.

Estos trastornos se presentan cuando los nervios de las extremidades superiores (nervios periféricos) son expuestos a una fuerte presión debido a actividades repetidas o sostenidas, usualmente con bordes de la superficie de trabajo, herramientas, cerca de los huesos, ligamentos y tendones. Por ejemplo, uno de los trastornos más comunes dentro de este grupo es el síndrome del túnel carpiano, que se refiere a la compresión del nervio mediano en su recorrido del antebrazo a la mano, lo que puede ocasionar inflamación y dilatación de los tejidos en el estrecho canal óseo.

Según el Instituto Nacional de Trastornos Neurológicos y Accidentes Cerebrovasculares (NINDS por sus siglas en inglés, 2006) se han identificado más de 100 tipos de neuropatías periféricas, que pueden afectar a uno o varios nervios, las cuales pueden tener diferentes orígenes: como resultado de otras enfermedades, como consecuencia de una infección viral, congénito, a partir de una lesión o por compresión de un nervio. En este sentido, para los efectos de esta investigación, se tendrá mayor interés en los dos últimos, por su vinculación a los trastornos de origen laboral.

Los trastornos a nivel de nervios o neuropatías periféricas causan distorsión y, en oportunidades, interrupción de los mensajes entre el cerebro y el resto del cuerpo. Los síntomas que se generan como producto de una neuropatía periférica son variables y pueden ir empeorando gradualmente, entre ellos se pueden mencionar: entumecimiento, picazón, hipersensibilidad táctil, debilidad muscular, dolores quemantes, o inclusive parálisis y mal funcionamiento de órganos y glándulas. Aunque en general, este tipo de trastornos son menos frecuentes que otros del sistema musculoesquelético, suelen ser más severos e implican un costo mayor (NINDS, 2006).

Dentro del grupo de neuropatías periféricas originadas por compresión, se encuentran el síndrome del túnel carpiano, síndrome del nervio cubital, síndrome del nervio radial, síndrome del canal del supinador, síndrome del pronador redondo, síndrome del opérculo torácico, síndrome cervical o cervicalgia, síndrome del nervio ciático poplíteo externo, síndrome del nervio tibial posterior, síndrome del túnel tarsal, compresiones radiculares y ciatalgia (Attwood et al, 2004; López y Cuevas, 2008; Mondelo et al, 2001; Pérez A., 2004; Putz, 1988; Zorrilla, 2012).

Cuando las anomalías involucran tanto los nervios como los vasos sanguíneos adyacentes se le conocen como trastornos neurovasculares. Una de las afecciones más comunes dentro de este grupo es el síndrome del conducto torácico, que envuelve el hombro y brazo superior, y se refiere a la compresión de los nervios y vasos sanguíneos entre el cuello y el hombro. Sus síntomas son similares a los del síndrome del túnel carpiano, es decir, entumecimiento en los dedos de la mano, e incluye además adormecimiento del brazo y pulso debilitado en la muñeca. Otros trastornos neurovasculares son el síndrome del dedo

blanco o síndrome de Raynaud y la aneurisma de la arteria cubital (Attwood et al, 2004; Putz, 1988; Zorrilla, 2012).

Por otro lado, algunos organismos como la OIT o el INPSASEL establecen sus propios listados de enfermedades musculoesqueléticas, las cuales entre otras cosas, permite la estandarización y comparación entre distintos sectores ocupacionales. En este sentido en la Tabla 2 se presenta el listado de enfermedades del sistema osteomuscular establecido por la OIT (2010b).

Tabla 2. Listado de enfermedades del sistema osteomuscular según la OIT

1. Tenosinovitis de la estiloides radial debida a movimientos repetitivos, esfuerzos intensos y posturas extremas de la muñeca
2. Tenosinovitis crónica de la mano y la muñeca debida a movimientos repetitivos, esfuerzos intensos y posturas extremas de la muñeca
3. Bursitis del olecranon debida a presión prolongada en la región del codo
4. Bursitis prerrotuliana debida a estancia prolongada en posición de rodillas
5. Epicondilitis debida a trabajo intenso y repetitivo
6. Lesiones de menisco consecutivas a períodos prolongados de trabajo en posición de rodillas o en cuclillas
7. Síndrome del túnel carpiano debido a períodos prolongados de trabajo intenso y repetitivo, trabajo que entrañe vibraciones, posturas extremas de la muñeca, o una combinación de estos tres factores
8. Otros trastornos del sistema osteomuscular no mencionados en los puntos anteriores cuando se haya establecido, científicamente o por métodos adecuados a las condiciones y la práctica nacionales, un vínculo directo entre la exposición a factores de riesgo que resulte de las actividades laborales y el(los) trastorno(s) del sistema osteomuscular contraído(s) por el trabajador

Entre tanto, en la Tabla 3 se muestra el listado de trastornos referenciado por el INPSASEL (Ministerio del Poder Popular para el Trabajo y Seguridad Social, 2008), la cual se fundamenta en la Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud (CIE-10) de la Organización Mundial de la Salud.

Debido a que el diagnóstico de alguno de estos trastornos amerita la examinación y evaluación clínica de profesionales especializados, para este estudio se considera la clasificación de los trastornos según la zona del cuerpo afectada, lo que resulta más fácil y económico de identificar.

Detección de Síntomas Relacionados a Trastornos Musculoesqueléticos

Uno de los síntomas característicos y que aparece en las fases tempranas de cualquier trastorno musculoesquelético es el dolor localizado, por lo que su análisis puede representar la detección en sí de cualquier lesión a nivel óseo, muscular, articular, tendinoso, ligamentoso o nervioso, que se pudiera estar presentando, y por ende, servir de base para la prevención de niveles crónicos del trastorno; de hecho, Bhattacharya y McGlothlin (2011) señalan que el análisis de las molestias percibidas por los trabajadores puede servir como un indicador bastante sensible al riesgo de desarrollo de algunos TME relacionados al trabajo. En fases posteriores del trastorno o lesión, el dolor puede ir acompañado de otros síntomas como enrojecimiento, inflamación, dificultad de movilización de la parte afectada y hasta alteración de su forma anatómica.

Tabla 3. Listado de enfermedades ocupacionales (TME) según el INPSASEL

1.	Lumbago no especificado
2.	Trastorno del disco intervertebral
3.	Síndrome del túnel del carpo
4.	Trastornos de los tejidos blandos relacionados con el uso, el uso excesivo y la presión
5.	Lesiones de hombro
6.	Epicondilitis
7.	Sinovitis y tendinitis
8.	Trastorno del disco cervical con radiculopatía
9.	Otros trastornos del disco cervical
10.	Trastornos del disco lumbar con radiculopatía
11.	Trastornos de los discos intervertebrales no específicos
12.	Bursitis de mano
13.	Bursitis del olecranon
14.	Otras bursitis de codo
15.	Bursitis de la rodilla
16.	Otros trastornos no especificados de los tejidos blandos relacionados con el uso, el uso excesivo y la presión
17.	Síndrome manguito del rotador
18.	Bursitis de hombro
19.	Lesiones de hombro no especificadas
20.	Dedo en gatillo
21.	Tenosinovitis de estiloides radial (de Quervain)
22.	Sinovitis y tenosinovitis, no especificadas

Es importante conocer las características del dolor, ya que en muchos casos puede resultar diagnóstica, por lo que siempre será útil pedirle al individuo que señale la zona de su dolor. Además de la localización del dolor, es conveniente sondear otras particularidades tales como su duración, progresión, naturaleza, intensidad e irradiación. Un dolor que ha estado presente por un tiempo prolongado por ejemplo, probablemente sugiere que la condición sea crónica y degenerativa (Fitzgerald, Kaufer y Malkani, 2004). No obstante, es importante considerar que el dolor es una sensación subjetiva, en cuya percepción y expresión influyen diversos factores como la edad, el sexo, la cultura, la religión, el entorno, las experiencias doloras previas, entre otros (Palmer y Epler, 2005).

La forma más práctica, económica e inmediata para conocer y cuantificar el dolor asociado a posibles TME, es a través de los denominados cuestionarios del dolor, los cuales además de ser de gran utilidad en el proceso de identificación y facilitar la comparación, resultan esenciales para la evaluación e investigación clínica, contribuyendo en la elaboración del perfil del dolor del individuo (Carvalho, Ribeiro y Moreira, 2010; Palmer y Epler, 2005).

Dentro de los cuestionarios utilizados con mayor frecuencia, y que han demostrado validez y fiabilidad, se encuentran las escalas unidimensionales como la Escala de Clasificación Verbal (ECV) y la Escala de Puntuación Numérica (EPN), y las escalas multidimensionales tales como el cuestionario de McGill, la escala de Saint-Antoine, el índice de discapacidad de Oswestry, la técnica *body part discomfort*, el cuestionario nórdico estandarizado, el mapa de dolor, el cuestionario del dolor de Dallas, el cuestionario de los síntomas inapropiados, el método para la identificación de factores de estrés musculoesqueléticos (PLIBEL) de la Junta Nacional Sueca de Seguridad y Salud Ocupacional, entre otros (Helander, 2006; Palmer y Epler, 2005; Zorrilla, 2012).

A continuación se describen dos métodos utilizados frecuentemente para la detección y caracterización del dolor, en este caso, vinculado a la presencia de posibles lesiones musculoesqueléticas; estos son el cuestionario nórdico estandarizado y la técnica *body part discomfort* (Helander, 2006); los cuales permiten identificar no sólo la localización corporal del dolor, sino que indagan sobre otros aspectos como su intensidad y duración. Por consiguiente, estos instrumentos son útiles para identificar trabajos, tareas o equipos que

podieran ser causantes de problemas musculoesqueléticos, sobre los cuales deberán realizarse evaluaciones y análisis más detallados.

Estos dos instrumentos concuerdan con el objetivo de la investigación de identificar las molestias musculoesqueléticas según la zona corporal donde se ubica y enfatiza las molestias desde sus síntomas iniciales, como lo es el dolor localizado. Instrumentos como el mapa del dolor detalla el tipo de molestia que la persona siente (hormigueo, entumecimiento, ardiente), lo cual para efectos del estudio, no se considera relevante. En otros instrumentos como el cuestionario del dolor de Oswestry o el cuestionario del dolor de Dallas, la detección de las molestias viene dada por una encuesta de varias preguntas, lo que prolonga aún más la recolección de la información, además que estos instrumentos discriminan el dolor por actividad realizada (sentarse, andar, dormir) pero no por zona corporal.

Cuestionario nórdico estandarizado

Esta técnica fue propuesta por Kuorinka et al (1987) y está enfocada en los síntomas más frecuentes que se encuentran en el ámbito ocupacional. El cuestionario está estructurado por preguntas de selección múltiple, y el mismo puede ser usado como un cuestionario auto administrado (a ser completado por la misma persona encuestada) o a través de una entrevista (con el apoyo de un encuestador). Entre los propósitos de la herramienta se encuentran el de proporcionar una vía para medir los resultados de estudios epidemiológicos sobre TME, además de servir como una herramienta de diagnóstico para analizar el ambiente de trabajo, la estación de trabajo y el diseño de herramientas; aunque no está destinado a proporcionar una base para el diagnóstico clínico.

El cuestionario está planteado en dos niveles: uno general y otro específico enfocado a profundizar en ciertas partes del cuerpo en particular. El cuestionario general busca determinar la ocurrencia de problemas musculoesqueléticos así como las partes del cuerpo donde estos se localizan; para ello divide el cuerpo humano en nueve regiones anatómicas: cuello, hombros, codos, muñecas/manos, espalda superior, espalda baja, cadera/muslos, rodillas y tobillos/pies. Entre tanto, el nivel específico del cuestionario se concentra en las áreas en que los síntomas musculoesqueléticos son más comunes, como la espalda, el cuello y los hombros; profundizando en aspectos relacionados a la duración de las

molestias o dolores, la existencia de molestias o dolores en los últimos 12 meses y en los últimos 7 días, así como el impacto que han tenido sobre sus actividades normales.

En este sentido, varios autores han utilizado el cuestionario nórdico estandarizado para determinar la prevalencia de TME en trabajadores de diferentes sectores laborales tales como el personal universitario, personal administrativo, terapistas, trabajadores de la industria del salmón, trabajadores de la industria textil, enfermeras, o inclusive en otros contextos como en niños escolares (Aizat et al, 2009; Almagro et al, 2009; Alrowayeh et al, 2010; Öztürk y Esin, 2011; Tinubu et al, 2010; Vernaza y Sierra, 2005). La presencia de molestias musculoesqueléticas, de acuerdo a los trabajadores consultados en estas investigaciones, oscila entre 47,6% y 84,4%, y resaltan la espalda, el cuello y los hombros, como las partes corporales más comúnmente afectadas.

Este cuestionario también se ha empleado, en conjunto con otras encuestas o instrumentos de medición, para analizar la correlación entre las molestias musculoesqueléticas y ciertos factores personales o laborales, como la edad (Alrowayeh et al, 2010), antigüedad en el trabajo (Almagro et al, 2009; Tinubu et al, 2010), hábitos en el hogar relacionados con el uso de computador personal o televisión (Aizat et al, 2009), o la exposición a factores de riesgo biomecánico como postura, fuerza y movimiento (Aizat et al, 2009; Öztürk y Esin, 2011; Tinubu et al, 2010; Vernaza y Sierra, 2005). No obstante algunos de estos autores recomiendan la inclusión y el análisis de otros factores tales como el tabaquismo, la actividad física, la antropometría, el estado de salud general y los factores psicosociales; así como las interacciones que pudieran existir entre los distintos factores de riesgo.

Al respecto, algunos autores como Golubovich et al (2014) analizaron la relación entre molestias musculoesqueléticas y carga psicosocial del lugar de trabajo, encontrando que la percepción de un clima de seguridad pobre representa un estresor que puede generar frustración y por consiguiente disconformidad musculoesquelética. Otros autores como Ilardi (2012), emplearon el cuestionario nórdico estandarizado para determinar posibles relaciones entre riesgo de desórdenes musculoesqueléticos, calidad y productividad.

Escala de malestar del cuerpo

La escala de malestar de las partes del cuerpo (*body part discomfort scale*) es otro de los instrumentos de percepción de molestias empleado con frecuencia para consultar al

trabajador sobre las áreas del cuerpo en las que presenta las incomodidades y su intensidad; el cual fue desarrollado por Corlett y Bishop en el año de 1976. Sus autores demostraron que la cantidad de molestia en una escala de cinco puntos, está linealmente relacionada a la cantidad y duración de una fuerza particular. Para identificar la localización de la molestia se utiliza un mapa del cuerpo humano (en el que el cuerpo está dividido en segmentos) y se pregunta a la persona sobre la cantidad de incomodidad en una escala de cinco o siete puntos, donde cero significa que no presenta molestia y cinco o siete implica una molestia extrema; es común que las molestias estén localizadas en pocas áreas del cuerpo (Helander, 2006).

De acuerdo al planteamiento de Stover et al (2007), los puntajes de molestia postural (dados por encuestas de percepción) han demostrado estar asociados con la carga biomecánica, el tiempo de mantener una postura y a la frecuencia de carga postural en las articulaciones; inclusive se han asociado con síntomas de TME; por lo que este tipo de instrumentos deberían ser aplicados antes de iniciar alguna intervención en el lugar de trabajo, de forma que proporcione una base para posteriormente evaluar el desempeño de la intervención.

Aunque la intensidad del dolor es subjetiva, Fitzgerald et al (2004) han agregado otros aspectos como los efectos del dolor y la necesidad de un analgésico, en un intento de clasificar su severidad y poder establecer cinco grados del dolor (ver Tabla 4). Esta escala pudiera servir de complemento a la técnica de la escala de malestar del cuerpo.

Tabla 4. Escalas del dolor

Grado	Criterios
1	Sin dolor
2	Leve, puede ignorarse
3	Moderado, requiere analgésicos
4	Severo, invasivo a pesar de los analgésicos
5	Muy intenso, impide virtualmente toda actividad

Fuente: Fitzgerald et al (2004)

Modelos Teóricos Sobre la Generación de Trastornos Musculoesqueléticos

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.

A continuación se mencionan algunos de los modelos teóricos generales que mejor explican el mecanismo de generación de los TME, clasificados de acuerdo al enfoque general o énfasis que guía al modelo.

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.

1. 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 7). 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 de trabajo. 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.

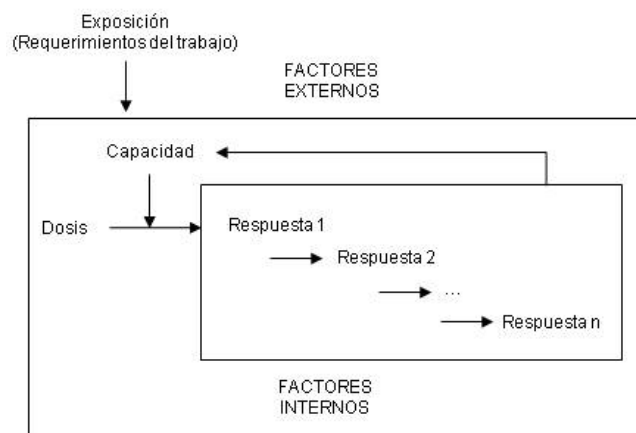


Figura 7. Modelo de Armstrong et al (1993)

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.

2. 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 la 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 del trabajo, estimadas por mediciones sobre el trabajador, cuyas variables son útiles en las directrices sobre los métodos de trabajo, para evaluar la carga de trabajo en cada individuo.

Según el modelo (ver Figura 8), 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.

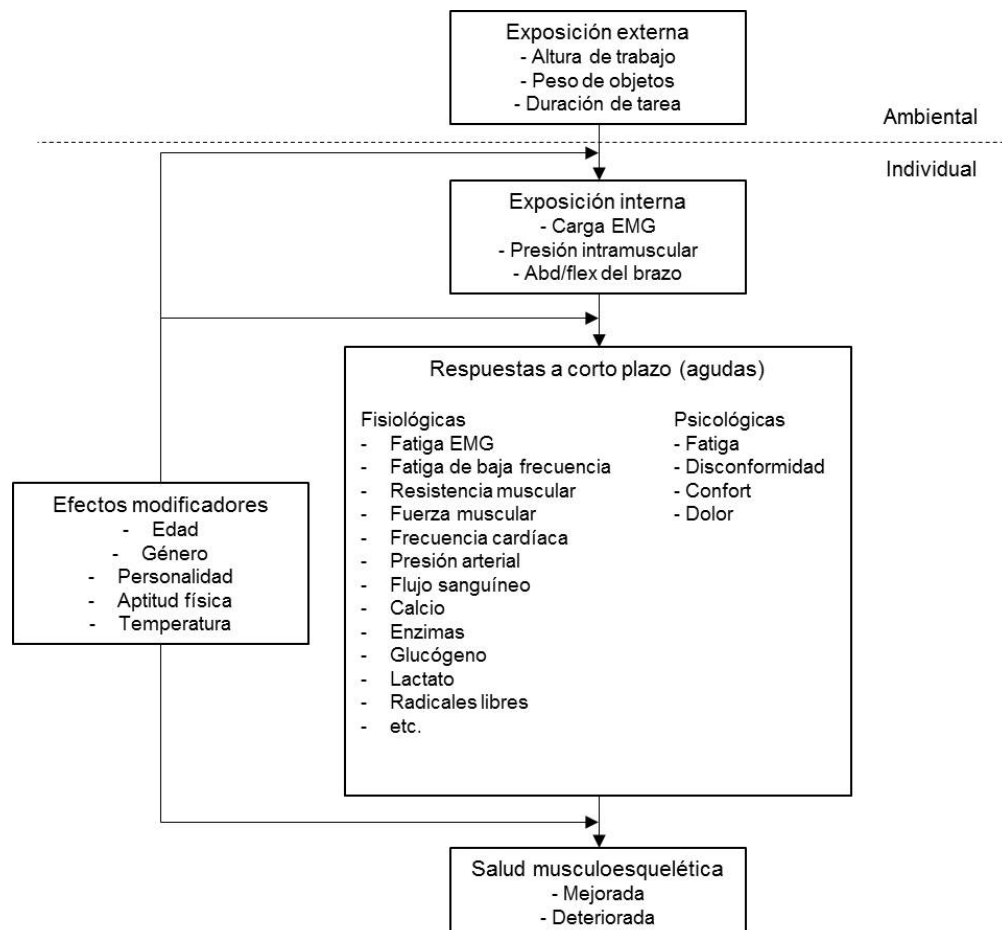


Figura 8. Modelo de Westgaard y Winkel (1996)

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 trabajador 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, lo que reafirma la necesidad de desarrollar modelos que permitan predecir este tipo de trastornos, a partir de la identificación de sus variables más relevantes.

3. 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 de trabajo 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 del trabajador, que lo obliga a adoptar posturas, realizar movimientos y ejercer fuerzas. La situación de trabajo, el método de trabajo y la tríada de posturas, movimientos y fuerzas, constituyen la exposición externa (ver Figura 9).

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.

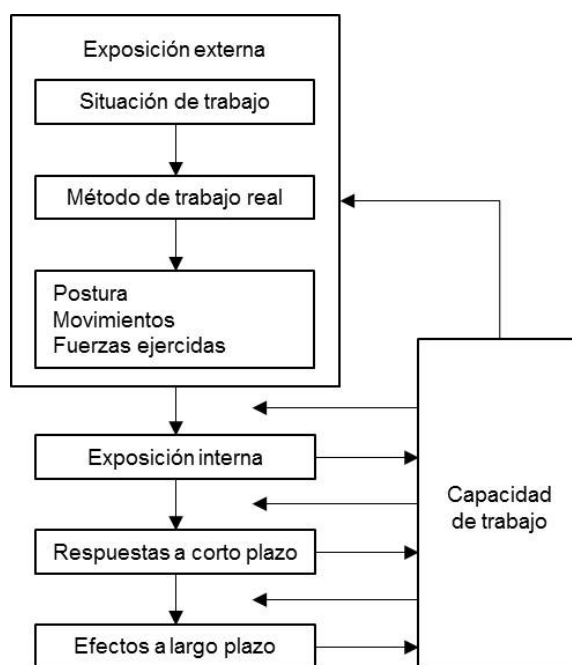


Figura 9. Modelo de Van der Beek y Frigs-Dresen (1998)

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 del trabajo (alta carga de trabajo, presión de tiempo y monotonía, baja claridad del trabajo, 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, Ley y Spalding (2002) y Golubovich, Chang y Eatough (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.

1. 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 10. 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).

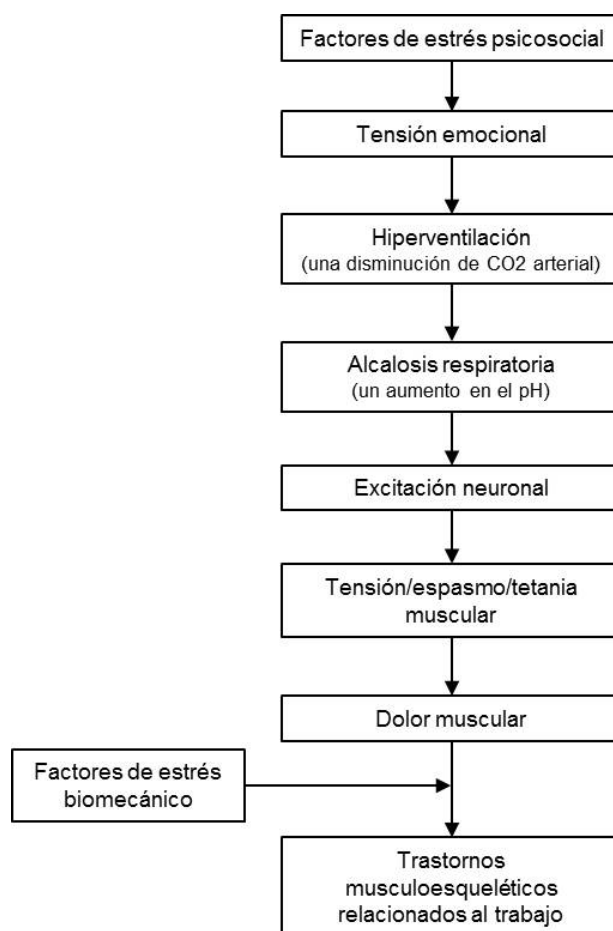


Figura 10. Teoría de hiperventilación de Schleifer et al (2002)

2. 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 11).

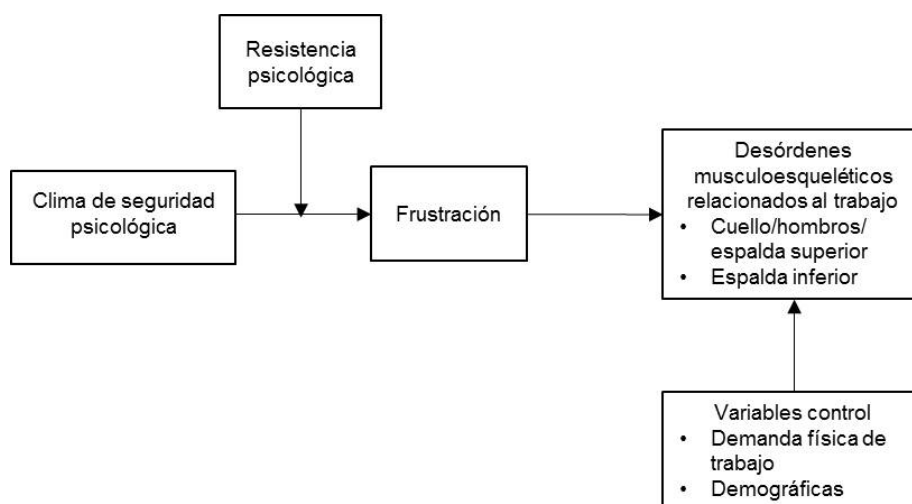


Figura 11. Modelo de la relación estrés-TME de Golubovich et al (2014)

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 en conjunto con el Instituto de Medicina, se amplía el espectro de los elementos causantes de los TME, dando paso a una explicación multifactorial.

1. Modelo de Bongers et al.

En los trabajos presentados por Bongers y sus colaboradores (Bongers et al, 1993; Bongers, Kremer y ter Laak, 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 12.

Al respecto se plantea que las características psicosociales del lugar de trabajo, tales como las demandas de trabajo 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.

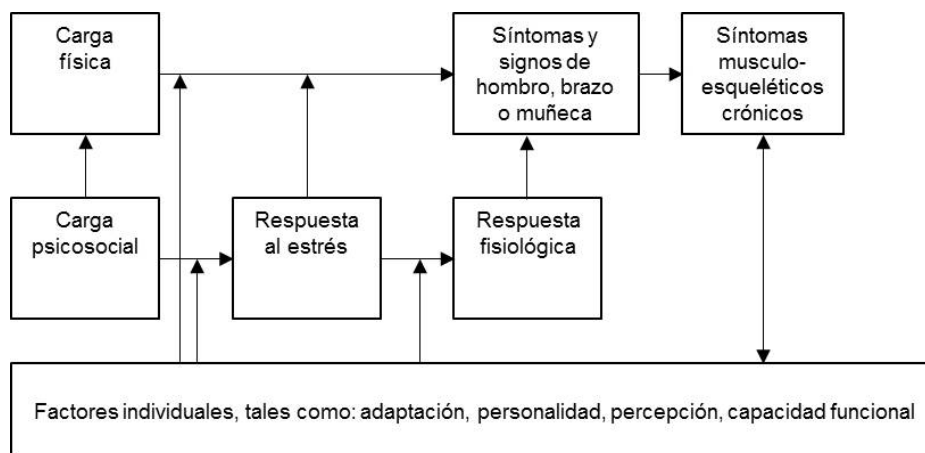


Figura 12. Modelo de Bongers et al (2002)

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 diferentes igualmente dependiendo del sitio anatómico.

2. 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 trabajos 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 13).

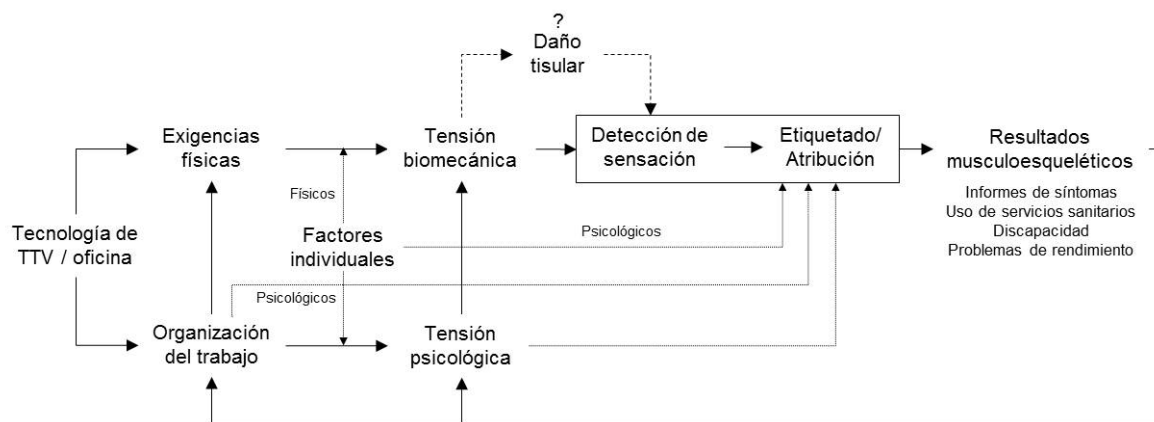


Figura 13. Modelo ecológico de TME de Sauter y Swanson (1996)

La organización del trabajo también puede afectar las exigencias físicas que un trabajador experimenta, al influir directamente en los métodos de trabajo, 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, Feuerstein y Sauter, 2002; Karsh, 2006).

3. 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 14.

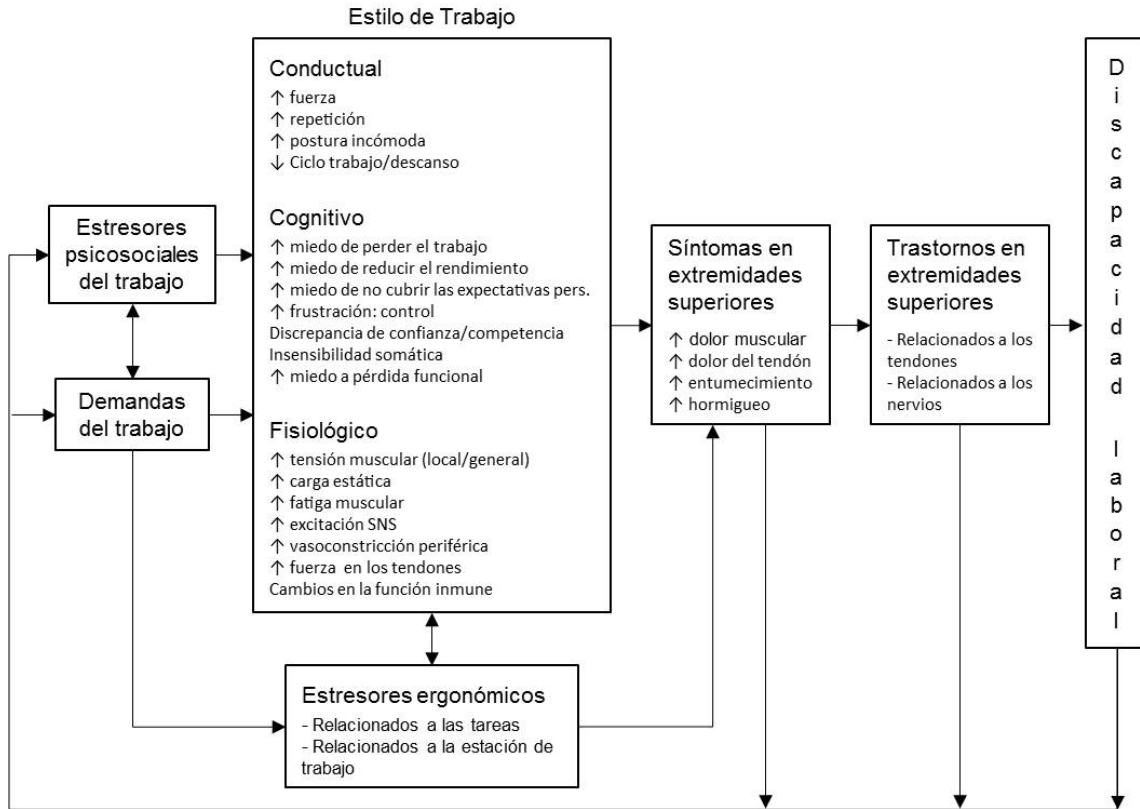


Figura 14. Modelo del estilo de trabajo de Feuerstein (1996)

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 del trabajo, 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; aunque en el modelo no se detallan las dimensiones

exactas de esos componentes. A pesar de ello, este modelo genera opciones para intervenciones dirigidas tanto a nivel individual como organizacional (Huang et al, 2002).

4. 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 (alteración 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 15).

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 sobreesfuerzo 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.

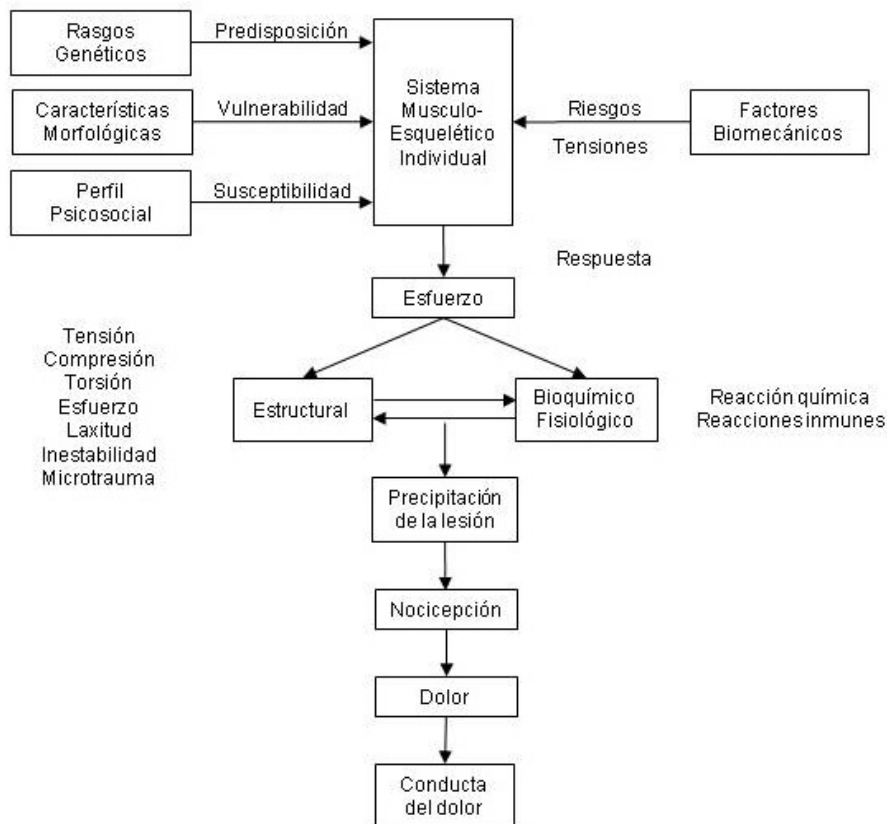


Figura 15. Teoría de interacción multivariada de Kumar (2001)

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

El modelo conceptual planteado por el Consejo Nacional para la Investigación (National Research Council, NRC) y el Instituto de Medicina (Institute of Medicine, IOM), 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 16). 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).

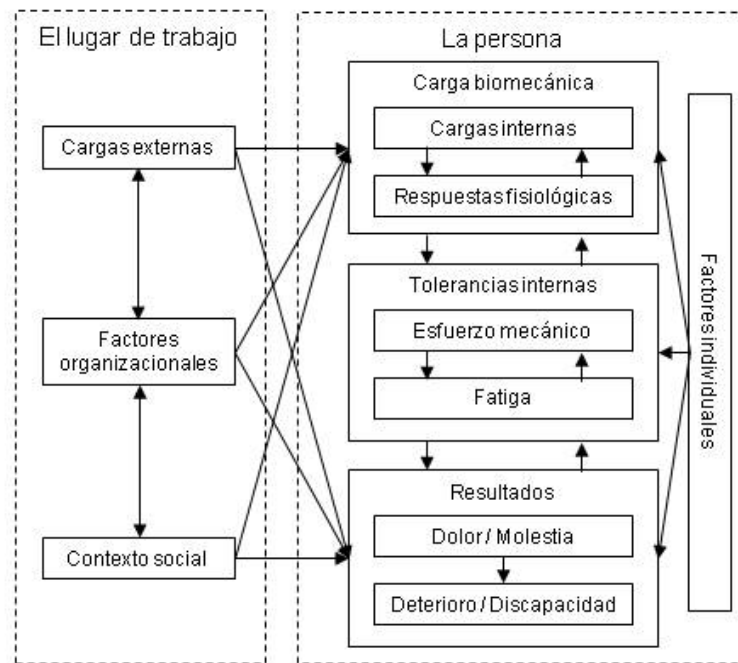


Figura 16. Modelo conceptual del NRC y el IOM (2001)

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.

6. 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 el desempeño y productividad del trabajador, tal como se aprecia en la Figura 17. Este modelo integrado considera además la importancia de visualizar el ambiente de trabajo 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).

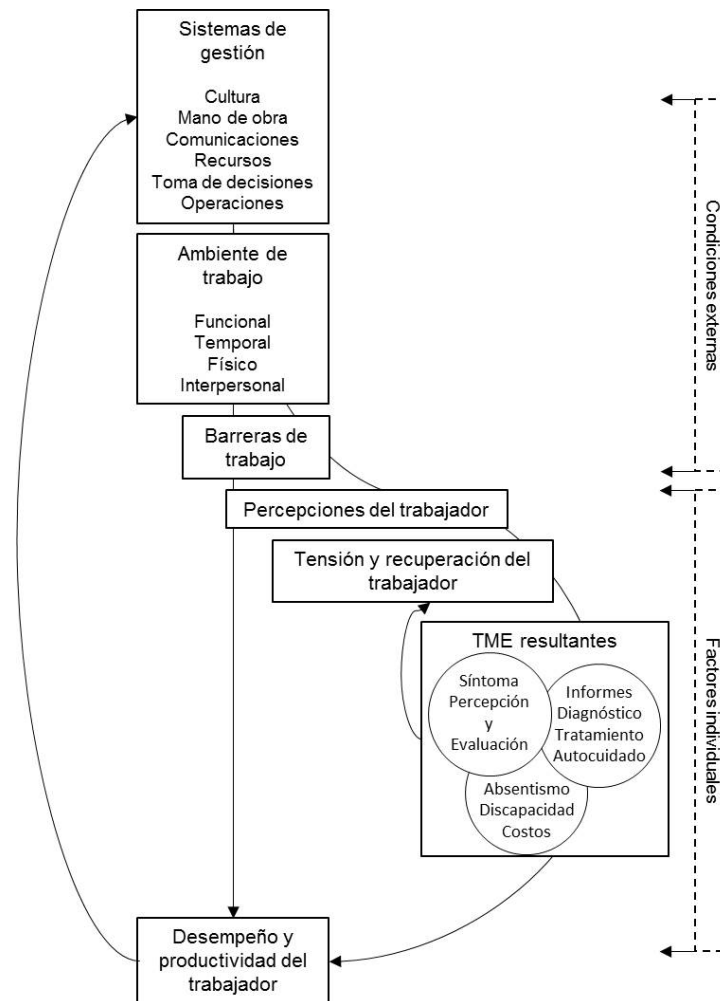


Figura 17. Modelo integrado de Faucett (2005)

Adicionalmente, el autor identifica cuatro perspectivas del ambiente de trabajo: características funcionales que involucra el diseño del trabajo, el personal y las comunicaciones; características temporales que involucran el ritmo general del trabajo, la programación y duración de descansos y turnos de trabajo, 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 el trabajo. Por lo tanto, el ambiente de trabajo tiene impacto directo sobre el rendimiento del trabajador, su productividad y los TME, e impacto indirecto a través de las barreras del flujo de trabajo, las percepciones y tensión del trabajador.

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.

1. Modelo de control adaptativo de Shoaf et al.

El trabajo 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 de tres elementos principales: las demandas del trabajo, el trabajador y los resultados.

Las demandas del trabajo abarcan tanto el contenido del trabajo (demanda física y mental) como el contexto del trabajo (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). La salida del modelo se refiere al rendimiento resultante del esfuerzo del trabajador (riesgo percibido por el trabajador 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 del trabajo 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 del trabajo, 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 18): 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.

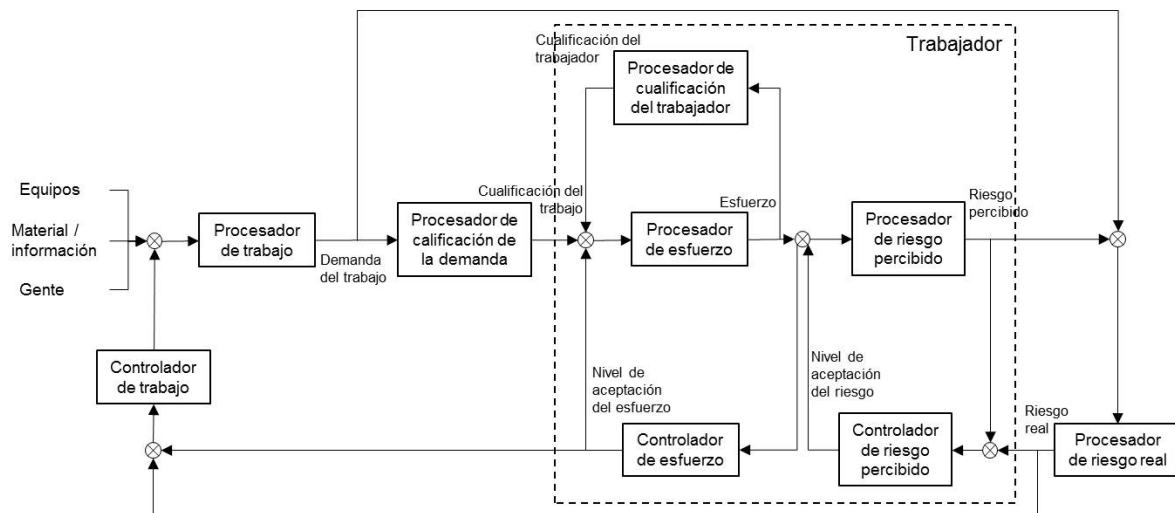


Figura 18. Modelo cibernético del sistema de trabajo de Shoaf et al (2000)

2. 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 19. 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.

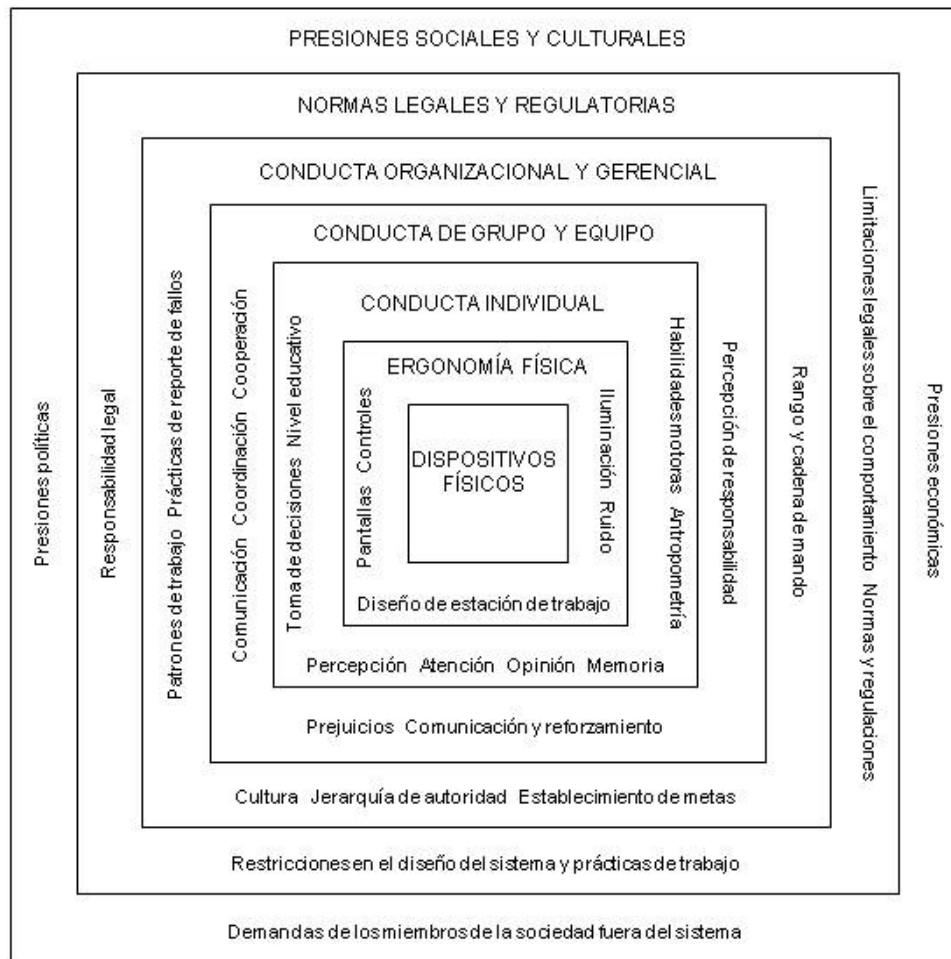


Figura 19. Modelo de sistemas en ergonomía de Moray (2000)

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 del trabajo) y las percepciones o creencias de los trabajadores en cuanto a la forma en que el trabajo es organizado (factores psicosociales del trabajo). Esto ha llevado a la evidencia

científica que indica que la organización del trabajo y los factores psicosociales del trabajo se asocian con el desarrollo de TME relacionados al trabajo. Los factores psicosociales del trabajo 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.

3. 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 20).

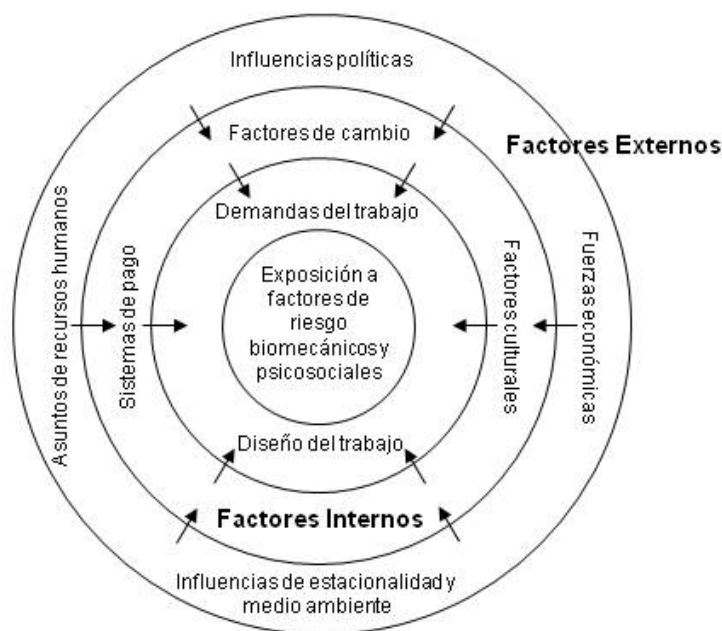


Figura 20. Modelo de los factores contextuales de Tappin et al (2008)

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

En la Tabla 5 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 5. 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 en términos de carga de trabajo física	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 (ocupacional e individual) y organizacionales en los TME	Carga física / factores individuales / carga psicosocial – respuesta al estrés – respuesta fisiológica – TME	Biomecánicos Psicosociales Individuales

Autor	Objetivo planteado	Niveles	Tipo de factores
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 / f. 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 roles de varios factores de riesgo y la base para iniciativas de prevención	Interacción de cargas externas, factores organiz. y contexto social – carga biomecánica – tolerancias internas – TME / f. individual	Biomecánicos Organizacionales 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 – aceptación del riesgo – acept. 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

Autor	Objetivo planteado	Niveles	Tipo de factores
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

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. Los 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 énfasis 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 modelos revisados, es la ausencia de medidas específicas, tiempos de exposición y periodos de latencia de los TME; la exposición a factores se basa en la caracterización de las fuentes de las lesiones (por ejemplo las herramientas) y el tipo de eventos (por ejemplo el uso repetitivo e incorrecto de las 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 igual.

La ausencia de ponderaciones o pesos de los factores de riesgo, que simbolicen el nivel de importancia que determinado factor tiene en la aparición de cierto tipo de TME, constituye un vacío encontrado en los distintos modelos analizados, y que justamente este estudio busca aproximar. De igual forma, la diferenciación entre un tipo de TME y otro, en cuanto a sus principales factores causantes, constituye otra de las brechas encontradas, cuya respuesta se propone en los resultados presentados.

Factores de Riesgo Relacionados al Desarrollo de TME

Uno de los principales objetivos de los estudios epidemiológicos es la identificación de los factores que se asocian positiva o negativamente con el desarrollo o recurrencia de determinadas condiciones médicas, tal como las enfermedades musculoesqueléticas (Piedrahíta, 2004). La identificación y evaluación de los factores de riesgo constituye la base para lograr una efectiva adaptación de los puestos y condiciones de trabajo, y por ende la prevención de muchos trastornos de esta naturaleza (Asensio, 2009).

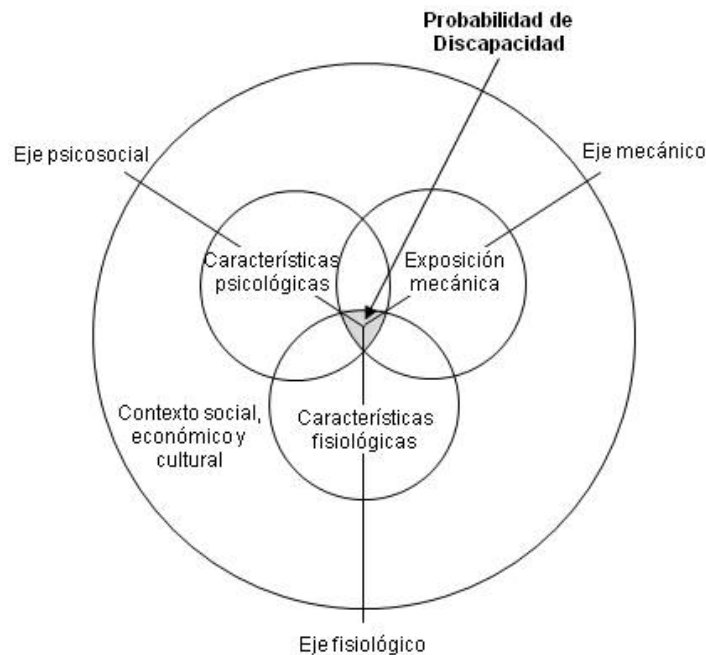
Se pueden identificar tres grupos principales de factores que pueden aumentar el riesgo de TME, estos son los factores físicos o biomecánicos, los factores organizativos y psicosociales, y los factores individuales o personales (Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo, 2007; Bell y Steele, 2012), según se puede observar en la Tabla 6. Otros autores como Bodin et al (2012) consideran los factores relacionados a la organización del trabajo y los factores psicosociales de forma separada, generándose un grupo adicional de factores en la clasificación.

Tabla 6. Factores que contribuyen al desarrollo de TME

Factores físicos o biomecánicos	Aplicación de fuerza
	Movimientos repetitivos
	Posturas forzadas y estáticas
	Presión directa sobre herramientas y superficies
	Vibraciones
	Entornos fríos o excesivamente calurosos
	Iluminación insuficiente
	Niveles de ruido elevados
Factores organizativos y psicosociales	Trabajo con un alto nivel de exigencia, falta de control sobre las tareas efectuadas y escasa autonomía
	Bajo nivel de satisfacción en el trabajo
	Trabajo repetitivo y monótono a un ritmo elevado
	Falta de apoyo por parte de los compañeros, supervisores y directivos
Factores individuales o personales	Historial médico
	Capacidad física
	Edad
	Obesidad
	Tabaquismo

Fuente: Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo (2007)

La National Academy of Sciences (2001) por su parte, subdivide los factores de riesgo vinculados a la lesión, deterioro y discapacidad por TME, en tres grupos: mecánicos, psicosociales y fisiológicos (ver Figura 21), donde además de evidenciarse el carácter multifactorial, se resalta el impacto que puede generarse en la medida que más factores se unen. Sin embargo, no quedan explícitas las características o factores individuales, y además, el aspecto fisiológico generalmente está vinculado tanto al aspecto psicosocial como físico, por lo que, para los efectos de esta investigación se tomará la clasificación de factores planteada por la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo.



Fuente: National Academy of Sciences (2001)

Figura 21. Factores de riesgo de trastornos musculoesqueléticos

Las investigaciones epidemiológicas han evidenciado que, además de la importante asociación entre la exposición a ciertos factores y los desórdenes musculoesqueléticos, las posibilidades de desarrollar este tipo de enfermedades se incrementan cuando los niveles de exposición son altos y en especial cuando se combinan entre sí; por ejemplo, aplicación de fuerza en posturas forzadas (Bernard, 1997).

Factores físicos o biomecánicos

Aun cuando la etiología multifactorial de los TME ha sido ampliamente aceptada, los factores de tipo físico siguen representando el centro de atención como los principales responsables de la aparición de este tipo de enfermedad ocupacional. De hecho, para Attwood et al (2004) los TME son originados por la exposición a los siguientes factores de riesgo: aplicación de fuerza, movimientos repetitivos, posturas inadecuadas, estrés por contacto y fatiga muscular general, todos ellos de tipo físico.

No está claramente definida la magnitud del riesgo asociado con una cuantificación específica de exposición, pero hay consenso en que exposición a altos niveles o a una combinación de esos factores de riesgo, elevan el riesgo de TME. López y Cuevas (2008) mencionan que aunado a estos factores de riesgo, existen áreas y estructuras

musculoesqueléticas más vulnerables debido a características anátomo-funcionales, biomecánicas y fisiológicas como es el caso del nivel de irrigación de un determinado tejido, lo que incrementa la complejidad del caso. Así mismo, explican que aunque el sistema musculoesquelético está diseñado para el movimiento, su uso excesivo o la inactividad pueden deteriorar cualquiera de sus estructuras.

De acuerdo a los estudios de Díez et al (2007), los factores de riesgo físico más importantes a los que se encuentran expuestos los trabajadores, son las posturas forzadas (38%), los movimientos repetitivos (37%), la manipulación de cargas (15%) y la realización de fuerzas importantes (15%). Otros factores que forman parte de este grupo son el mantenimiento de posturas estáticas, las vibraciones y los entornos fríos (Asensio, 2009).

A continuación se detallan los tres factores físicos más importantes:

1. Posturas forzadas. Surgen cuando la disposición del cuerpo, y en particular una o varias regiones anatómicas, no se encuentran en una posición natural de confort; generándose hiperextensiones, hiperflexiones o hiperrotaciones osteoarticulares. Las posturas forzadas incluyen posiciones del cuerpo fijas, posturas que sobrecargan los músculos y tendones, posturas que cargan las articulaciones de forma asimétrica y posturas que generan carga estática en la musculatura. El riesgo aumenta en la medida en que la postura se aleje de la posición natural, más veces se repita o más tiempo se mantenga; sobresalen posturas tales como brazos por encima de hombros, desviaciones de las muñecas, tronco inclinado o girado, rodillas flexionadas y giros de la cabeza (Comisiones Obreras de Castilla y León, 2008; Díez et al, 2007).

Las principales características que se asocian a este factor físico son: la frecuencia de movimientos hasta una posición forzada, la duración de la postura, las posturas de cuello, de tronco, de extremidades superiores y extremidades inferiores (Zorrilla, 2012); aunque para Burdorf y Van der Beek (1999), la parametrización de una variable de exposición, como las aquí descritas, debe abordar las tres principales dimensiones de exposición: intensidad, frecuencia y duración.

2. Movimientos repetitivos. Se define como la realización continuada de ciclos de trabajos parecidos y cortos, los cuales se asemejan en la secuencia, el patrón de fuerzas y las características espaciales del movimiento. En general, se considera movimiento repetitivo

cuando la realización del mismo movimiento ocurre cada 30 segundos o menos, o donde el 50% del ciclo del trabajo contiene un patrón de movimientos similar de las extremidades superiores. Algunos de los factores que podrían aumentar su riesgo son la aplicación de fuerzas intensas, posturas forzadas, repetición de los mismos movimientos, falta de descansos, vibración, espacio reducido de trabajo, ritmo elevado de trabajo y ausencia de control (Attwood et al, 2004; Díez et al, 2007). Las principales características asociadas a este factor son: la frecuencia de movimientos o cantidad de acciones por unidad de tiempo, el uso de fuerza, la adopción de posturas y movimientos forzados, el tiempo de recuperación y la duración del trabajo repetitivo (Zorrilla, 2012).

3. Manipulación manual de cargas. Se refiere a cualquier actividad en la que los trabajadores tienen que levantar, empujar, arrastrar o transportar una carga animada (personas o animales) o inanimada (objetos), haciendo uso fundamentalmente de su esfuerzo físico. Dentro de los posibles factores que pudieran aumentar el riesgo se encuentran: cargas demasiado pesadas y grandes, difícil de agarrar y alcanzar, espacios insuficientes para la manipulación, suelo desigual o resbaladizo, falta de experiencia del trabajador y edad avanzada, entre otros (Díez et al, 2007).

Dentro de las características más importantes de este factor se encuentran: el peso a levantar, la frecuencia de levantamientos, el tipo de agarre de la carga, la torsión del cuerpo durante la acción, la separación de la carga respecto al cuerpo, el desplazamiento de la carga y la duración de la actividad (Zorrilla, 2012).

En la Tabla 7 se muestran los principales factores físicos o biomecánicos relacionados con distintos TME, de acuerdo a la revisión bibliográfica realizada. Se señala además la cantidad de investigaciones consultadas en las que se ha vinculado el factor particular con cada zona anatómica afectada.

Como se puede evidenciar, las posturas forzadas y estáticas sobresalen como uno de los factores físicos más estudiados y que más se han relacionado con los trastornos de tipo musculoesqueléticos, especialmente a nivel de la espalda, hombros y cuellos. También se asocia a las molestias de espalda, la manipulación de cargas, la cual incluye tanto el levantamiento como los empujes o arrastres. Ahora bien, a nivel de las extremidades superiores y los hombros, pareciera encontrarse más evidencias que los vinculan a factores

como la repetitividad de movimientos y el uso de fuerzas. En menor nivel de relevancia se halla el factor relacionado a las vibraciones.

Tabla 7. Relación entre factores físicos y trastornos musculoesqueléticos

Factor	TME	Referencias
Manipulación manual de cargas	Espalda baja (5), Cuello (2), Hombros (2), Espalda alta (2), Extremidades superiores (2)	Aizat et al (2009); Bernard (1997); Elders y Burdorf (2001); Malchaire et al (2001); Meksawi et al (2012); Sim, Lacey y Lewis (2006); Tinubu et al (2010); Velandia y Muñoz (2004)
Movimientos repetitivos	Extremidades superiores (6), Hombros (5), Cuello (3), Espalda baja (3), Extremidades inferiores (1)	Bernard (1997); Bodin et al (2012); Deros, Indah y Ahmad (2010); Flores y Bastías (2011); Habib, El Zein y Hojeij (2012); Hansson et al (2001); Meksawi et al (2012); Roman-Liu (2007); Sim et al (2006)
Posturas forzadas y estáticas	Espalda baja (12), Hombros (10), Cuello (9), Extremidades superiores (8), Espalda alta (5), Extremidades inferiores (1)	Aizat et al (2009); Akanbi y Ikemefuna (2010); Almagro et al (2009); Bell y Steele (2012); Bernard (1997); Bodin et al (2012); Elders y Burdorf (2001); Flores y Bastías (2011); Gangopadhyay et al (2010); Habib et al (2012); Hansson et al (2001); Luime et al (2004); Meksawi et al (2012); Patience y Derek (2011); Sim et al (2006); Tinubu et al (2010); Velandia y Muñoz (2004); Vernaza y Sierra (2005); Widanarko et al (2012)
Uso significativo de fuerza	Extremidades superiores (5), Hombros (4), Espalda baja (3), Cuello (2),	Bernard (1997); Bodin et al (2012); Deros et al (2010); Flores y Bastías (2011); Heiden et al (2013)
Vibraciones	Extremidades superiores (1), Espalda (1), Hombros (1)	Bernard (1997); Flores y Bastías (2011)

Fuente: Casos procedentes de la revisión bibliográfica

Factores psicosociales

La investigación ergonómica ha hecho un progreso significativo en la identificación de factores de riesgo físicos para los desórdenes musculoesqueléticos relacionados al trabajo, así como en el desarrollo de estrategias de intervención para reducir esta exposición. Sin embargo, a pesar de un amplio acuerdo sobre los factores de riesgo físicos y las estrategias de control, la reducción ha sido desafortunadamente pequeña, lo que sugiere la presencia de otros factores causales diferentes a los tratados por las técnicas de intervención focalizadas únicamente en riesgos biomecánicos. Por tal razón, desde hace dos décadas, la comunidad

de investigadores ergonómicos, ha dedicado mayor atención a factores de riesgo psicosocial asociados con la organización del trabajo.

De esta forma, los factores de riesgo o estresores psicosociales se refieren a aspectos no físicos del medio ambiente de trabajo que tienen un impacto psicológico y fisiológico sobre el trabajador; es decir, los factores psicosociales representan la intersección de la psicología del individuo con las características sociológicas de la organización (Keerthi y Babski-Reeves, 2014; Karwowski, 2006). En la Tabla 8 se muestran los principales factores psicosociales, en los que se han encontrado vinculación con molestias musculoesqueléticas de diferente índole, identificados en la literatura consultada; se indican además las partes del cuerpo afectadas y el número de investigaciones asociadas al TME entre paréntesis, resaltando los problemas a nivel de cuello y espalda.

Tabla 8. Relación entre factores psicosociales y trastornos musculoesqueléticos

Factor	TME	Referencias
Exigencia mental y temporal	Cadera (1)	Rodríguez et al (2011)
Presión de tiempo y alta carga de trabajo	Cuello (3), Espalda baja (2), Hombros (1), Espalda alta (1)	Bongers et al (1993); Elders y Burdorf (2001); Malchaire et al (2001); Valecillo et al (2009)
Percepción de fatiga	Espalda baja (2), Extremidades superiores (1), Ext. inferiores (1)	Habib et al (2012); Meksawi et al (2012)
Problemas emocionales y de estado de ánimo	Espalda (2), Cuello (1)	Bongers et al (1993); Linton (2000)
Contenido pobre de trabajo o monotonía	Cuello (1), Hombros (1), Espalda (1)	Bongers et al (1993)
Escaso control sobre el trabajo	Cuello (1), Extremidades superiores (1)	Sim et al (2006)
Falta de apoyo de supervisores y apoyo social	Espalda baja (4), Cuello (3), Extremidades superiores (1), Espalda alta (1)	Bongers et al (1993); Malchaire et al (2001); Meksawi et al (2012); Sim et al (2006); Valecillo et al (2009); Widanarko et al (2012)
Intimidación sexual	Cuello (1)	Stock y Tissot (2012)
Desequilibrio trabajo-hogar	Cuello (1), Hombros (1)	Ahlgren, Malmgren y Brulin (2012)
Estrés	Espalda (5), Cuello (3), Hombros (1), Extremidades superiores (1), Ext. inferiores (1)	Bongers et al (1993); Habib et al (2012); Linton (2000); Valecillo et al (2009); Widanarko et al (2012)

Fuente: Casos procedentes de la revisión bibliográfica

Para Fernández, Cleland y Huijbregts (2013), factores psicosociales como la carga de trabajo, el estrés psicológico y el apoyo percibido, han tenido una importancia creciente como factores determinantes en el desarrollo de trastornos de extremidad superior, aunque señala que la exposición resulta difícil de medir con exactitud debido a la carencia de un sistema de medición estándar, teniéndose que recurrir a estimaciones subjetivas. Otros factores son el bajo nivel de satisfacción del personal, atención elevada, ritmo muy elevado de trabajo, tareas muy repetitivas y falta de autonomía (Asensio, 2009; Díez et al, 2007).

Destaca en las evidencias encontradas que los factores psicosociales, de distinta naturaleza, se relacionan comúnmente con trastornos a nivel de la espalda y cuello, así lo reflejan 18 y 15 de las investigaciones revisadas, respectivamente. Los factores psicosociales que más destacan se relacionan con el estrés, la presión de tiempo que impone una alta carga de trabajo y la falta de apoyo de supervisores y compañeros. Aunque el estrés ha sido estudiado por algunos investigadores como un constructo íntegro, la realidad es que, en este aspecto pudieran converger varios de los factores específicos mencionados, en otras palabras, aspectos como la presión de tiempos, la falta de apoyo social, el escaso control sobre el trabajo, entre otros, pueden vincularse al estrés.

Factores individuales

Dentro de los factores individuales se agrupan todos aquellos asociados a las características propias del trabajador, y que de alguna forma se han vinculado con el desarrollo de TME; tales como: el historial médico del trabajador, el género, la edad, la antropometría, la dominancia de la mano, el tabaquismo y hasta factores hormonales (ver Tabla 9).

En cuanto a los factores individuales o personales, resaltan nuevamente las investigaciones que han relacionado diversas variables tales como: el género, la edad, la dedicación en el trabajo, la antigüedad y el historial médico del trabajador, con trastornos a nivel de cuello y extremidades personales, principalmente. Otros aspectos menos relevantes incluyen la obesidad, el uso de computadora y televisión, el número de hijos, y otros más excepcionales como el estado civil y los problemas hormonales.

Tabla 9. Relación entre factores individuales y trastornos musculoesqueléticos

Factor	TME	Referencias
Género	Cuello (5), Espalda baja (4), Extremidades superiores (3), Hombros (3), Espalda alta (1)	Ahlgren et al (2012); Almagro et al (2009); Alrowayeh et al (2010); Bell y Steele (2012); Côté (2012); Patience y Derek (2011); Widanarko et al (2012)
Edad	Cuello (4), Espalda baja (4), Extremidades superiores (3), Hombros (2), Espalda alta (1)	Alrowayeh et al (2010); Bell et al (2012); Bellorín et al (2007); Heiden et al (2013); Malchaire et al (2001); Motamedzade et al (2012); Patience y Derek (2011)
Historial médico con problemas de salud	Cuello (2), Extremidades superiores (1)	Flores y Bastías (2011); Luime et al (2004); Malchaire et al (2001)
Obesidad	Cuello (2), Espalda (1)	Luime et al (2004); Palmer y Epler (2005); Valecillo et al (2009)
Tabaquismo	Cuello (1), Hombros (1), Extremidades superiores (1)	Ahlgren et al (2012); Malchaire et al (2001)
Uso de computadora y televisión	Cuello (1), Hombros (1)	Aizat et al (2009)
Estado civil	Extremidades superiores (1)	Motamedzade y Moghimbeigi (2012)
Cantidad de hobbies	Cuello (1), Ext superiores (1)	Malchaire et al (2001)
Problemas hormonales	Cuello (1)	Malchaire et al (2001)
Número de hijos	Espalda (1), Ext. superiores (1), Ext. inferiores (1)	Habib et al (2012)
Años de trabajo	Ext. superiores (3), Cuello (2), Espalda baja (2), Hombros (1)	Almagro et al (2009); Motamedzade et al (2012); Patience y Derek (2011)
Dedicación en el trabajo	Ext. superiores (2), Cuello (1), Hombros (1), Espalda (1), Ext. inferiores (1)	Ahlgren et al (2012); Habib et al (2012); Motamedzade y Moghimbeigi (2012)

Fuente: Casos procedentes de la revisión bibliográfica

De acuerdo a la literatura consultada se ratifica el carácter multifactorial etiológico de los TME, por lo que al momento de evaluar y más aún, predecir su ocurrencia, es fundamental considerar la mayor parte de estos factores, y no basar a priori este tipo de estudios en el comportamiento de uno o muy pocos elementos, a pesar de que en algunos casos la relación entre determinado factor y trastorno sea evidente. Ello corrobora la necesidad de desarrollar modelos predictivos integradores de los diferentes factores de riesgo que potencian la aparición de TME.

Métodos de Evaluación de Factores de Riesgo

En un sentido amplio, la evaluación de riesgos se refiere al proceso de registro de información, interpretación y valoración de los factores de riesgo, como base para la toma

de decisiones y la mejora. Al respecto, Márquez (2007) explica que el proceso de evaluación de riesgos debe seguir tres fases: el análisis del riesgo, la valoración del riesgo y el control del riesgo. Sin embargo, es importante resaltar que la gran mayoría de métodos de evaluación tienen un alcance diagnóstico y permite abarcar las fases de análisis y valoración del riesgo, por lo que el control del riesgo o la solución del problema normalmente recaen sobre el ingenio del diseñador, analista o ergónomo responsable del proyecto de intervención.

En la actualidad existe una cantidad de métodos de evaluación que se han venido reconociendo como métodos válidos y útiles a la hora de valorar un determinado factor de riesgo o un conjunto de ellos. Así, hay métodos más generales y métodos más específicos dependiendo de la profundidad y cantidad de factores de riesgo considerados.

Refiriéndose a la estimación de los requerimientos físicos de trabajo, se pueden identificar tres métodos: las listas de chequeo, la observación directa y la medición directa, cada uno con sus limitaciones particulares. Las listas de chequeo incluyen los cuestionarios auto-administrados, las entrevistas y los libros de registro; su principal desventaja viene dada por su reproducibilidad y sesgo subjetivo. Los métodos de observación directa o métodos de análisis detallados pueden subdividirse a su vez en dos tipos: técnicas de papel y lápiz y los métodos asistidos por computadora; su desventaja más importante es su susceptibilidad al sesgo del observador y la vista ocluida debido al ángulo de visión. El tercer método se refiere a la medición directa a través del uso de herramientas tales como goniómetros, sistema de escaneo óptico, sistema sónico, sistema electromagnético y sistemas basados en acelerómetro; sus desventajas guardan relación con errores de calibración y su alcance para considerar situaciones dinámicas, ya que normalmente estos métodos se emplean en una configuración estática clínica (Barriera-Viruet et al, 2006; Burdorf y Van der Beek, 1999; Li y Buckle, 1999; Zorrilla, 2012). No, obstante, por su facilidad de uso y accesibilidad, sobresalen los métodos de observación directa.

De acuerdo al propósito perseguido, las metodologías o cuestionarios de evaluación de los riesgos psicosociales se pueden clasificar en 4 grandes grupos, según lo reseña el INSHT (2005). En primer lugar se encuentran los métodos globales de evaluación de las condiciones de trabajo que incluyen los riesgos de carácter psicosocial (LEST y ANACT),

en segundo lugar están los métodos globales de evaluación de los factores psicosociales (NTP 443 del INSHT y el ISTAS), luego se encuentran los métodos que analizan sólo un factor o área específica relacionada con el ámbito psicosocial (Escala de conflicto y ambigüedad de rol, cuestionario LIPT y las pruebas provenientes de la psicología) y, finalmente, los cuestionarios de salud percibida que intentan obtener medidas representativas de aspectos tales como el estado psicológico y mental del paciente, las limitaciones en la actividad física, el grado de afectación en las relaciones sociales del paciente, dolor, entre otros.

Al referirse a la evaluación de la carga mental, Dalmau (2008) explica que existen cuatro tipos de medidas: de rendimiento, psicofisiológicas, analíticas y subjetivas. Las medidas de rendimiento son consideradas como una evaluación del sistema de ejecución que se quiere analizar, se presupone que una tarea con carga alta será más difícil y dará como resultado una ejecución más deficiente. Las técnicas psicofisiológicas registran los cambios en el cuerpo del operador relacionados con las demandas de la tarea que está siendo realizada, tales como el encefalograma y la actividad magnética y metabólica del cerebro. Los métodos analíticos se basan en la modelización tanto desde la perspectiva de la evaluación como de la predicción del nivel de carga, para ello se elabora un modelo matemático, de ingeniería o psicológico de la tarea, y se hacen las modificaciones convenientes de acuerdo a lo arrojado por la simulación. Las técnicas subjetivas analizan la percepción u opinión que tiene la persona de las exigencias de la tarea; en este tipo de escalas el trabajador debe seleccionar las frases que mejor describen su situación o señalar a través de una escala el grado en que está o no de acuerdo con un conjunto de proposiciones.

Las técnicas subjetivas representan la metodología más utilizada en la evaluación de los factores psicosociales y para muchos autores significan el procedimiento de evaluación más adecuado, ya que en general tienen un elevado nivel de aceptación por parte de los trabajadores por su facilidad de uso y porque permiten expresar la propia opinión, además suelen ser menos costosos y sus requisitos de implementación mínimos. Las técnicas subjetivas incluyen los cuestionarios y las entrevistas semiestructurada, siendo las escalas de valoración la modalidad más frecuentemente utilizada. En ella, el operario selecciona la frase o el grado numérico que mejor describe su percepción respecto a un conjunto de proposiciones relacionadas con su tarea o a sí mismo (González, citado en Dalmau, 2008).

Para Asensio et al (2012), la gran cantidad de factores de riesgo que deben ser considerados para realizar una evaluación ergonómica de un puesto de trabajo, representa una dificultad significativa, por lo que la mayoría de métodos de evaluación ergonómica se centran en el estudio de un solo factor de riesgo a la vez. Aunque lo ideal sería medir todos los posibles factores de riesgo, poco se conoce sobre la importancia relativa de cada uno de ellos y sus interacciones; lo que ha impedido el establecimiento de un resultado global, validado por la comunidad científica, que considere todos los factores de riesgo.

Los principales métodos de observación directa (no invasivos) disponibles para analizar los factores físicos, específicamente las posturas forzadas y estáticas, se mencionan en la Tabla 10.

Tabla 10. Principales métodos de evaluación de posturas forzadas y estáticas

Método	Referencia consultada
Método Amstrong	Zorrilla (2012)
ERIN (Evaluación del Riesgo Individual)	Rodríguez y Guevara (2011)
FIOH (The Ergonomic Workplace Analysis method by the Finnish Institute of Occupational Health)	Chiasson et al (2012)
HAMA (Hand-Arm-Movement Analysis)	Asensio (2009)
ISO 11226 (Ergonomía: Evaluación de posturas de trabajo)	Zorrilla (2012)
LUBA (Loading on the Upper Body Assessment)	Kee y Karwowski (2001)
ManTRA (Manual Tasks Risk Assessment)	Burgess et al (2004)
Método de la posición de la mano	Zorrilla (2012)
MODSI (Modelo simple para la evaluación integral del riesgo a lesiones músculo-esqueléticas)	Manero, Soto y Rodríguez (2005)
OWAS (Ovako Working Analysis System)	Karhu, Kansu y Kuorinka (1977)
PATH (Posture, Activity, Tools and Handling)	Zorrilla (2012)
PLIBEL (Plan för Identifiering av Belastningsfaktorer)	Kemmlert (1995)
Posture Recording	Li y Buckle (1999)
Posture Targetting	Asensio (2009)
Posturegram	Li y Buckle (1999)
QEC (Quik Exposure Check)	Li y Buckle (1999)
REBA (Rapid Entire Body Assessment)	Hignett y McAtamney (2000)
RULA (Rapid Upper Limb Assessment)	McAtamney y Corlett (1993)
Swat	Zorrilla (2012)
ULRA (Upper Limb Risk Assessment)	Roman-Liu et al (2013)
UNE-EN 1005-4	Asociación Española de Normalización (2009a)
WR Model (Work Rest Model)	Zorrilla (2012)

Fuente: Literatura consultada

De ellos, los métodos que tradicionalmente han sido utilizados en mayor medida por los ergónomos son el OWAS, el REBA y el RULA (Asensio, 2009; Dempsey, McGorry y Maynard, 2005; Zorrilla, 2012), incluyendo en las empresas objeto de la presente investigación.

Los métodos de observación directa más importantes para evaluar el factor relacionado a la manipulación manual de cargas y aplicación de fuerzas, se pueden observar en la Tabla 11. No obstante, la manipulación de cargas hace referencia a distintos tipos de actividades que pudieran presentarse en la práctica de forma simple o combinados, como lo son: levantamientos, transportes, empujes o arrastres; por lo que conviene, para su análisis, diferenciar los levantamientos y transportes de cargas de los movimientos manuales de empuje y arrastre. Los métodos más utilizados por los ergónomos son el método NIOSH (Ecuación revisada de NIOSH) para el levantamiento de cargas, las tablas de Snook y Ciriello y la guía técnica del INSHT (Asensio, 2009; Zorrilla, 2012).

Tabla 11. Principales métodos de evaluación de manipulación manual de cargas

Método	Referencia consultada
AFNOR (Association Francaise de Normalisation)	Mondelo et al (2001)
ARBOUW (Guidelines on physical workload)	Zorrilla (2012)
Ecuación revisada de NIOSH (National Institute for Occupational)	Waters, Putz-Anderson y Garg (1994)
ERGO/IBV (Instituto de Biomecánica de Valencia)	IBV (2011)
G-INSHT (Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la manipulación manual de cargas)	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2011)
ISO 11228-1, 2 y 3 (Ergonomics. Manual Handling.)	Zorrilla (2012)
Job Seveity Index	Asensio (2009)
KIM (Key Indicator Method)	Zorrilla (2012)
MAC (Manual Handling Assessment Charts)	Health & Safety Executive (s.f.)
Método EC2	Cerda et al (2009)
MSC	Zorrilla (2012)
REFA (Reichsausschuß für Arbeitszeitermittlung)	Mondelo et al (2001)
RODGERS MFA (Rodgers Muscle Fatigue Analysis)	Zorrilla (2012)
Tablas de Snook y Ciriello	Asensio (2009)
UNE-EN 1005-3	Asociación Española de Normalización (2009b)

Fuente: Literatura consultada

Con relación al factor de riesgo sobre repetitividad, los principales métodos utilizados para su análisis se listan en la Tabla 12, siendo los métodos OCRA y JSI los de mayor uso entre los ergónomos (Asensio, 2009; Zorrilla, 2012).

Tabla 12. Principales métodos de evaluación de repetitividad de movimientos

Método	Referencia consultada
ACGIH (HAL) (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)	Zorrilla (2012)
ART (Assessment of Repetitive Tasks)	Health & Safety Executive (s.f.)
Check List OCRA (Occupational Repetitive Action)	Colombini (1998)
ERGO/IBV (Instituto de Biomecánica de Valencia)	IBV (2011)
ISO 11228-3	Zorrilla (2012)
JSI (Job Strain Index)	Asensio (2009)
Modelo del Cubo	Zorrilla (2012)
Sue Rodgers	Asensio (2009)
UNE-EN 1005-5	Asociación Española de Normalización (2009c)

Fuente: Literatura consultada

Por su parte, en la Tabla 13 se mencionan los principales métodos utilizados para el análisis de los factores psicosociales conseguidos en la literatura.

Tabla 13. Principales métodos de evaluación de factores psicosociales

Método	Referencia consultada
ANACT (Agence Nationale pour L'Amélioration des Conditions de Travail)	Zorrilla (2012)
CoPsoQ-ISTAS 21	Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS, 2010)
JCQ (Job Content Questionnaire)	Karasek et al (1998)
LEST (Laboratoire de Economie et Sociologie)	Asensio (2009)
NASA-TLX (Nasa Task Load Index)	Hart y Staveland (1988)
NTP 443 Factores psicosociales: metodología de evaluación	INSHT (1997)
QPS (General Nordic Questionnaire for Psychological and Social Factors at Work)	Ahlgren et al (2012)

Fuente: Literatura consultada

Una de las principales limitaciones de muchas de las técnicas de observación listadas, es que no se consideran simultáneamente los distintos factores de riesgo vinculados a las molestias musculoesqueléticas en el proceso de evaluación, y menos aún su interacción; por

lo que, para la combinación de factores de riesgo, todavía no hay suficiente data para prescribir los límites de exposición aceptable para los factores individuales o combinados.

En la presente investigación, se seleccionó un método por cada tipo de factor de riesgo con el propósito de permitir su cuantificación y por ende, el análisis y construcción del modelo predictivo propuesto. Dicha selección responde a los siguientes criterios:

1. Métodos no invasivos y que implican poca interrupción del trabajador en sus labores, debido a que facilita la recolección de la información además que reduce la inversión requerida para su aplicación (equipos, personal, tiempo de la implementación), no solo para los efectos de esta investigación sino para la futura implementación del modelo por parte de la empresa. Además, esto permitirá una mayor disposición por parte del trabajador. Para ello se analizó la metodología correspondiente a cada método.

2. Métodos conocidos o utilizados por el sector industrial en estudio; por un lado, habrá una mayor familiarización hacia el tema por parte de trabajadores y supervisores de las empresas, y por otro lado, facilitará la futura implementación del modelo, pues al contarse con la información de métodos ya utilizados, reducirá el tiempo e inversión requeridos para llevar a cabo la corrida del modelo y el seguimiento de acciones preventivas. También se considera la formación del personal del área de seguridad y salud laboral de las empresas en estudio o del personal contratado para llevar a cabo dichas evaluaciones. Para ello se revisaron informes de evaluación ergonómica previamente realizados en las empresas así como entrevistas con los encargados del área de seguridad y salud laboral.

3. Métodos explicados claramente en la literatura, dado que algunos métodos carecen de una descripción detallada, tienden a ser ambiguos, lo que dificulta su aplicación y comprensión. Para ello se consultaron tanto las fuentes originales del método respectivo, como antecedentes o artículos publicados en los que se hayan utilizado los mismos, que permita tener una clara concepción de las fases de preparación, recolección de data, análisis e interpretación de resultados.

4. Métodos comparables con gran trayectoria, se prefieren métodos reconocidos y que más repetidamente han sido utilizados en la literatura científica, lo cual da cuenta de su validez y su capacidad para la comparación entre diferentes trabajos. Para ello se analizó la literatura científica relacionada con el tema.

5. Métodos acordes al tipo de tareas y riesgos encontrados en el sector industrial en estudio, de manera de lograr una mayor precisión en los resultados obtenidos por los distintos métodos utilizados. Para ello se analizó la prevalencia de TME obtenida en los trabajadores del sector, la cual forma parte del primer objetivo específico planteado.

De esta forma, para la evaluación de la sobrecarga postural se seleccionó el método RULA, debido a que es un método ampliamente utilizado en la industria nacional, de aplicación sencilla, además de que su enfoque en extremidades superiores es propicio para las tareas observadas en la industria cárnica. En el caso de la manipulación manual de cargas se considera conveniente el empleo de dos métodos: uno para el análisis de las tareas de levantamiento de cargas y otro para las actividades de empuje y arrastre de cargas. Para el primer caso se escogió la ecuación revisada de NIOSH, el cual es un método bastante reconocido entre los ergónomos, de fácil aplicación, además de que ha sido utilizado previamente en empresas del sector en estudio. Para el segundo caso se optó por el método ERGO/IBV, el cual se basa en: las tablas de pesos y fuerzas máximos aceptables de Snook y Ciriello, la guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la manipulación de cargas del INSHT y la norma UNE-EN 1005-2, es un método bastante completo, de relativa practicidad y no requiere de interrupciones muy prolongadas.

Debido a su tradicional utilización en diferentes sectores industriales, poca interrupción de los trabajadores a la hora de recopilar los datos y previo uso por ergónomos en las empresas consideradas, se seleccionó el método check list OCRA para el análisis de la repetitividad de movimientos. En cuanto a los factores psicosociales, aun cuando poco se ha aplicado el método con anterioridad en las empresas del sector estudiado, se optó por el método del ISTAS21 (CoPsoQ) debido a que el mismo contempla las principales dimensiones identificadas en la literatura revisada, es un método bastante completo de fácil aplicación y no requiere de personal altamente cualificado para llevarlo a cabo. En la Tabla 14 se resumen los métodos considerados, así como el listado de todos los factores de riesgo que son objeto de análisis en esta investigación.

En los apartados siguientes se describen cada uno de los métodos de evaluación.

Tabla 14. Factores de riesgo de TME considerados

Tipo de variable	Variable	Método de evaluación
Biomecánica	1. Sobrecarga postural	RULA
	2. Repetitividad de movimientos	Check list OCRA
	3. Levantamiento de cargas	Ecuación revisada NIOSH
	4. Empuje y arrastre de cargas	ERGO/IBV
Psicosocial	5. Exigencias psicológicas	CoPsoQ-ISTAS21
	6. Trabajo activo y posibilidades de desarrollo	
	7. Inseguridad	
	8. Apoyo social y calidad de liderazgo	
	9. Doble presencia	
	10. Estima	
Individual	11. Edad	Encuesta y medición directa
	12. Género	
	13. Estatura	
	14. Peso	
	15. Hábito de tabaquismo	
	16. Antecedentes médicos relacionados a TME	
	17. Realización de labores domésticas	
	18. Realización de entrenamiento físico	
	19. Antigüedad en el cargo	
	20. Antigüedad en la empresa	
	21. Realización de sobretiempo	
	22. Rotación entre distintos puestos	

Método RULA (Rapid Upper Limb Assessment)

El método RULA desarrollado por McAtamney y Corlett (1993), evalúa la exposición de los trabajadores a factores de riesgo relacionados a la adopción continuada o repetida de posturas forzadas durante el trabajo, las cuales pueden generar fatiga y trastornos en el sistema musculoesquelético, en especial en los miembros superiores del cuerpo.

La aplicación del método conlleva el cumplimiento de una serie de etapas:

1. Identificar los ciclos de trabajo y observar al trabajador durante varios ciclos
2. Seleccionar las tareas y posturas a evaluar, tomando como criterio aquellas más significativas tanto por su duración como porque supongan una mayor carga postural. Así mismo, seleccionar para cada postura, si se evaluará el lado derecho o izquierdo del cuerpo, o ambos.

3. Hallar las puntuaciones para cada parte del cuerpo. El método divide el cuerpo en dos grupos: el A que incluye los miembros superiores (brazos, antebrazos y muñecas) y el B que comprende las piernas, el tronco y el cuello. La puntuación de cada zona corporal así como la puntuación global se asigna mediante tablas asociadas al método, a partir de mediciones fundamentalmente angulares (ver Anexo A).

4. Determinar la puntuación final del método y el nivel de actuación para obtener la existencia de riesgos. Luego de la obtención de las puntuaciones particulares de cada parte del cuerpo, se procede a determinar una puntuación general de cada grupo (ver Anexo A). Adicionalmente, el método RULA establece que las puntuaciones de ambos grupos (A y B) se incrementará un punto si la tarea es fundamentalmente estática (la postura se mantiene más de un minuto seguido) o si es repetitiva (se repite más de 4 veces por minuto). Además, establece un puntaje adicional por tipo de actividad muscular desarrollada y la fuerza aplicada durante el desarrollo de la tarea.

La puntuación obtenida para el grupo A, con su respectiva modificación, pasa a denominarse puntuación C, e igualmente la obtenida para el grupo B pasa a llamarse puntuación D, a partir de las cuales es posible determinar la puntuación final. De acuerdo a esta puntuación final, el método establece un nivel de actuación a seguir para cada caso (ver Tabla 15).

Tabla 15. Niveles de actuación sugeridos por RULA

Nivel	Puntuación final	Actuación sugerida
1	1 o 2	Postura aceptable
2	3 o 4	Pueden requerirse cambios en la tarea; es conveniente profundizar en el estudio
3	5 o 6	Se requiere el rediseño de la tarea; es necesario realizar actividades de investigación
4	7	Se requieren cambios urgentes en el puesto o tarea

Fuente: UPV (2006c)

5. Identificar dónde es necesario aplicar correcciones en función de las puntuaciones de las diferentes partes del cuerpo.

6. Rediseñar el puesto o introducir cambios para mejorar la postura.

Es importante señalar, que para los fines de la investigación, dado que el interés es asociar un valor cuantitativo al factor de riesgo de sobrecarga postural, el método RULA se limitará a la determinación de la puntuación global y el nivel de riesgo correspondiente.

Ecuación revisada de NIOSH

La ecuación de NIOSH (*National Institute of Occupational Safety and Health*) permite evaluar tareas en las que se realizan levantamientos de cargas, con la cual se obtiene el peso máximo recomendado que es posible levantar en las condiciones de la tarea para evitar la aparición de lumbalgias y trastornos en la espalda, así como el índice de levantamiento, que permite identificar levantamientos peligrosos (Waters, Putz-Anderson y Garg, 1994).

El método contempla fundamentalmente tres criterios o componentes: biomecánico, fisiológico y psicofísico. A partir del criterio biomecánico: se establece la unión entre las vértebras L5 y S1 como la zona de mayor esfuerzo lumbar durante el levantamiento, se considera la fuerza de compresión como el vector de esfuerzo crítico, y se establece 3,4 kN como la fuerza de compresión que define un incremento de riesgo de lesión lumbar. Mediante el criterio fisiológico: se fija en 9,5 Kcal/min la medida de capacidad de levantamiento máximo aeróbico, se establece 70% de la capacidad aeróbica máxima como el gasto de energía límite para levantamientos que requieren predominantemente trabajo del brazo. A través del criterio psicofísico: se elige un criterio aceptable para el 75% de la población trabajadora femenina y 90% de los hombres, y el uso de pesos máximos aceptables para los levantamientos (Mondelo et al, 2001).

El procedimiento a seguir para llevar a cabo la aplicación del método incluye:

1. Observar al trabajador durante un periodo de tiempo suficiente.
2. Determinar las tareas a evaluar dependiendo de la aplicabilidad de la ecuación.
3. Identificar la existencia de control significativo de la carga en el destino del levantamiento.
4. Tomar los datos necesarios para calcular los factores multiplicadores de la ecuación de NIOSH en el origen y en el destino si es el caso. Los factores multiplicadores son seis: factor de distancia horizontal, factor de distancia vertical, factor de desplazamiento, factor de asimetría, factor de frecuencia y factor de agarre (ver Anexo B).

Multiplicador horizontal (HM): penaliza los levantamientos en los que la carga se levanta alejada del cuerpo, ya que incrementa la fuerza de compresión en el disco, por lo que el peso máximo aceptable disminuye.

Multiplicador vertical (VM): penaliza levantamientos con origen o destino muy bajos o muy elevados, ya que se incrementa el esfuerzo lumbar y el gasto de energía.

Multiplicador de desplazamiento (DM): penaliza los levantamientos en los que el recorrido vertical de la carga es grande.

Multiplicador de asimetría (AM): penaliza los levantamientos que requieren torsión del tronco, ya que se produce un descenso del máximo peso aceptable y un descenso de la fuerza isométrica de los levantamientos.

Multiplicador de frecuencia (FM): penaliza elevaciones realizadas con mucha frecuencia durante periodos prolongados o sin tiempo de recuperación. Este factor se determina a partir de la frecuencia de elevaciones, la duración del trabajo y la distancia vertical del levantamiento.

Multiplicador de agarre (CM): penaliza elevaciones en las que el agarre de la carga es deficiente, ya que dificultan los levantamientos y aumentan la posibilidad de que se vuelque la carga. Este factor viene dado por el tipo y altura del agarre.

5. Calcular el valor del peso máximo recomendado (RWL por sus siglas en inglés) para cada tarea, a partir de los factores multiplicadores.

6. Calcular el índice de levantamiento (LI por sus siglas en inglés) y determinar la existencia de riesgos. El índice de levantamiento viene dado por la fórmula:

$$LI = \text{Peso de la carga levantada} / \text{RWL}$$

A partir de este indicador, puede valorarse el riesgo que entraña la tarea para el individuo según se plantea en la Tabla 16.

7. Analizar los valores de los factores multiplicadores para identificar oportunidades de mejora.

8. Rediseñar el puesto para mitigar el riesgo existente.

Tabla 16. Intervalos de riesgo según el índice de levantamiento NIOSH

Nivel	LI	Actuación sugerida
1	Menor o igual a 1	La tarea puede ser realizada por la mayor parte de los trabajadores sin ocasionarles problemas
2	Entre 1 y 3	La tarea puede ocasionar problemas a algunos trabajadores. Conviene estudiar el puesto de trabajo y realizar las modificaciones pertinentes
3	Mayor o igual a 3	La tarea ocasionará problemas a la mayor parte de los trabajadores. Debe modificarse

Fuente: UPV (2006b)

Al igual que con el método RULA, el interés del estudio se centra en la cuantificación del factor de riesgo por levantamiento de cargas, por lo que la aplicación de la ecuación se limitará al cálculo del índice de levantamiento y no a la generación de mejoras.

Método ERGO/IBV para evaluación de empujes y arrastres

El Ergo/IBV es una aplicación informática para la evaluación de riesgos ergonómicos y psicosociales del trabajo desarrollada por el Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV, 2011). Aun cuando la aplicación cuenta con una variada gama de módulos, en este caso se hará mención a la denominada manipulación manual de cargas – simple y múltiple, que incluye el análisis de tareas que impliquen levantamientos, transportes, empujes o arrastres de cargas, y sus posibles combinaciones.

El procedimiento a seguir para la aplicación del método es:

1. Observación del trabajador durante un largo periodo de tiempo y la selección de las tareas a evaluar (aquellas donde se realicen empujes o arrastres de cargas).
2. Determinar las variables requeridas por el método: fuerza inicial en kilogramos, fuerza sostenida en kilogramos, distancia recorrida en metros, frecuencia de arrastres o empujes (veces/minuto) y la altura de agarre de la carga en centímetros.
3. A partir de las variables anteriores, la aplicación determina el límite de fuerza inicial recomendado y el límite de fuerza sostenida recomendado, los cuales se recomienda no sobrepasar.
4. Calcular el índice de riesgo, el cual representa el nivel de riesgo asociado a la tarea de arrastre o empuje de cargas. Este índice viene dado por el máximo entre los dos valores

siguientes: el cociente entre la fuerza inicial (real) y el límite de fuerza inicial recomendado, el cociente entre la fuerza sostenida (real) y el límite de fuerza sostenida recomendado.

5. Hallar el riesgo asociado a la tarea, según la Tabla 17.

Tabla 17. Niveles de riesgo para arrastres o empujes de cargas

Nivel de riesgo	Índice
Aceptable	≤ 1
Moderado	$1 - 1,6$
Inaceptable	$\geq 1,6$

Fuente: IBV (2011)

6. Efectuar el rediseño de la tarea, modificando sus variables para obtener un índice de riesgo menor.

Para la investigación, se tomó este índice de riesgo como valor cuantitativo asociado al factor de riesgo por arrastre y empuje de cargas.

Método Check List OCRA (Occupational Repetitive Action)

El método *Check List* OCRA está dirigido a la evaluación del riesgo asociado a movimientos repetitivos de los miembros superiores (Colombini, 1998; Colombini, Occhipinti y Grieco, 2002; Universidad Politécnica de Valencia, UPV, 2006a), con el objetivo de alertar sobre posibles trastornos, especialmente de tipo musculoesquelético, tales como tendinitis en el hombro, tendinitis en la muñeca o síndrome del túnel carpiano.

El método se fundamenta en el análisis de un conjunto de factores: la duración del movimiento repetitivo, los periodos de recuperación o descanso permitidos, la frecuencia de las acciones requeridas, la duración y tipo de fuerza ejercida, la postura de ciertas partes del cuerpo durante la realización del movimiento y la consideración de factores adicionales tales como vibración, precisión, uso de guantes, entre otros.

El procedimiento requerido para llevar a cabo la aplicación del método establece:

1. Observar al trabajador durante suficiente tiempo y determinar su aplicabilidad.
2. Determinar la duración neta del movimiento repetitivo y la duración neta del ciclo. Para la primera, basta con restar de la duración total del movimiento, todas las pausas ocurridas

(pausas oficiales, almuerzo y otras pausas) y el tiempo de las tareas no repetitivas; mientras que la duración neta del ciclo resulta del cociente entre la duración neta de las tareas repetitivas y el número de ciclos realizados.

A partir de la duración neta del movimiento repetitivo es posible determinar el multiplicador de duración, que no es más que un factor de corrección del índice *Check List* OCRA (ver Anexo C).

3. Registrar los datos necesarios para calcular los factores multiplicadores del índice *Check List* OCRA: recuperación, frecuencia, fuerza, postura y factores adicionales (ver Anexo C).

Factor de recuperación: representa el riesgo asociado a la distribución inadecuada de los periodos de recuperación, en los cuales los músculos implicados permanecen en reposo.

Factor de frecuencia: hace referencia a las acciones técnicas (dinámicas y estáticas) realizadas por minuto, es decir, los movimientos necesarios para completar una operación simple en la que se ven implicadas una o varias articulaciones de los miembros superiores.

Factor de fuerza: es considerado significativo únicamente si la fuerza se ejerce con los brazos o manos al menos una vez cada pocos ciclos, e involucra acciones como empujar, pulsar, cerrar o abrir, manejar o apretar, usar herramientas, elevar o sujetar objetos.

Factor de postura: refiere el riesgo asociado a la postura de hombro, codo, muñeca y mano.

Factores adicionales: se refiere a un conjunto de circunstancias que pueden presentarse durante el ciclo de trabajo y que aumentan el riesgo.

4. Determinar el índice *Check List* OCRA con base en los factores anteriores y de acuerdo a la fórmula:

$$\text{Índice } \textit{Check List} \text{ OCRA} = (\text{Factor de recuperación} + \text{Factor de frecuencia} + \text{Factor de fuerza} + \text{Factor de postura} + \text{Factores adicionales}) * \text{Multiplicador de duración}$$

5. Describir el riesgo asociado al valor del índice *Check List* OCRA obtenido, así como las acciones recomendadas por el método (ver Tabla 18).

6. Detectar los factores más críticos de la tarea de manera de realizar un análisis más detallado de los mismos que conduzcan a la aplicación de acciones correctivas.

Tabla 18. Niveles de riesgo asociados al Índice *Check List* OCRA

Índice <i>Check List</i> OCRA	Riesgo	Acción sugerida
≤ 5	Óptimo	No se requiere
5,1 – 7,5	Aceptable	No se requiere
7,6 – 11	Muy ligero	Un nuevo análisis o mejora del puesto
11,1 – 14	Ligero	Mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento
14,1 – 22,5	Medio	Mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento
$> 22,5$	Alto	Mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento

Fuente: UPV (2006a)

Método ISTAS21 (CoPsoQ)

El método CoPsoQ-istas21 permite identificar y medir la exposición en el trabajo a seis grandes grupos de factores de riesgo de naturaleza psicosocial. Los riesgos de este tipo hacen referencia a características de las condiciones de trabajo y en especial de la organización del trabajo, que pudieran afectar la salud, ya que generan respuestas de tipo fisiológico (reacciones neuroendocrinas), emocional (sentimientos de ansiedad, depresión, alienación, apatía, etc.), cognitivo (restricción de la percepción, de la habilidad para la concentración, la creatividad o la toma de decisiones, etc.), y conductual (abuso de alcohol, tabaco, drogas, violencia, etc.) conocidas popularmente como estrés y que pueden ser precursoras de enfermedad. Este método tiene la ventaja de considerar una gran gama de factores, además de que es aplicable a cualquier trabajo y en cualquier sector de actividad económica (IBV, 2011; ISTAS, 2010).

El procedimiento permite realizar análisis tanto individuales como colectivos, los primeros ponen de manifiesto la exposición psicosocial en cierta tarea o puesto de trabajo, mientras que los segundos tratan los datos de manera conjunta para evidenciar la situación de un centro de trabajo o empresa en general. En este caso, se optará por un análisis individual debido al propósito de la investigación.

El procedimiento a seguir para llevar a cabo el método involucra las siguientes etapas:

1. Acordar la utilización del método con el comité de seguridad.
2. Preparar y realizar el trabajo de campo, referido a la aplicación de un cuestionario conformado por 38 preguntas de respuesta cerrada distribuidas en 6 apartados, a ser llenado por el trabajador en cuestión.

Los apartados evaluados son: exigencias psicológicas, trabajo activo y posibilidades de desarrollo, inseguridad, apoyo social y calidad de liderazgo, doble presencia (familiar y laboral) y estima; los cuales se detallan en la Tabla 19, en donde se indican las dimensiones contempladas en cada uno de ellos.

3. Interpretar los resultados. Una vez obtenida la puntuación de cada grupo de factores, es posible asociar a cada uno, el nivel de exposición psicosocial que representa dicha puntuación, a partir de su comparación con la asociada a la población ocupada de referencia estipulada por el método. De esta forma pueden obtenerse tres niveles de exposición: más favorable, intermedio y más desfavorable (ver Tabla 20).

4. Acordar medidas preventivas e implementarlas.

Al igual que con los otros métodos de evaluación, el interés del estudio se centra en la determinación del nivel de exposición psicosocial, por lo que la implementación de medidas preventivas quedan fuera del alcance del mismo.

Tabla 19. Factores psicosociales considerados por el CoPsoQ-istas21

Apartado	Dimensiones psicosociales	Descripción
Exigencias psicológicas	Exigencias psicológicas cuantitativas	Es la relación entre la cantidad de trabajo y el tiempo disponible para realizarlo. Se dan cuando existe más trabajo del que se puede realizar en el tiempo asignado
	Exigencias psicológicas emocionales	Incluyen las que afectan a nuestros sentimientos. Se dan cuando se requiere entender la situación de otras personas que también tienen emociones que pueden transferirnos
	Exigencias de esconder emociones	Son las exigencias para mantener una apariencia neutral independientemente del comportamiento de usuarios o clientes, superiores y compañeros
Trabajo activo y posibilidades de desarrollo	Influencia	Es el margen de decisión y autonomía que tienen los trabajadores respecto al contenido del trabajo y las condiciones de trabajo
	Control de tiempo	Es el margen de decisión y autonomía que tienen los trabajadores sobre el tiempo de trabajo y de descanso
	Posibilidades de desarrollo	Se refieren a las oportunidades que ofrece la realización del trabajo para poner en práctica los conocimientos, habilidades y experiencia de los trabajadores y adquirir nuevos
	Sentido del trabajo	Se refiere a encontrar significado a lo que se hace, que el trabajo sirve para algo o tiene un fin concreto para realizar un objetivo o producto
	Integración en la empresa	Se refiere a la implicación de los trabajadores con la empresa
Inseguridad	Inseguridad	Incluye diversos aspectos que conllevan un sentimiento de inseguridad, no solo contractual sino relacionada con otras condiciones de trabajo
Apoyo social y calidad de liderazgo	Claridad de rol	Son las exigencias contradictorias que se presentan en el trabajo y las que puedan suponer conflictos profesionales
	Previsibilidad	Determina si el trabajador dispone de la información necesaria, adecuada, suficiente y a tiempo para realizar bien su trabajo y adaptarse a los cambios
	Apoyo social	Es recibir la ayuda necesaria y oportuna para realizar bien su trabajo por parte de compañeros y superiores
	Posibilidades de relación social	Se refiere a la posibilidad de relacionarse socialmente con otras personas en el lugar de trabajo
	Sentimiento de grupo	Es el sentimiento de formar parte del colectivo humano con el que se trabaja, y determina la calidad de las relaciones sociales
	Calidad de liderazgo	Se refiere a la calidad de la dirección, de los superiores o jefes inmediatos como líderes, en cuanto a la planificación del trabajo o la comunicación con trabajadores
Doble presencia	Doble presencia	Son las exigencias sincrónicas, simultáneas, del ámbito laboral y doméstico-familiar
Estima	Estima	Se refiere al respeto, al reconocimiento y al trato justo que se obtiene a cambio del esfuerzo invertido en el trabajo

Fuente: IBV (2011); ISTAS (2010)

Tabla 20. Nivel de exposición psicosocial por grupo de factores

Apartado de dimensiones psicosociales	Nivel de exposición psicosocial		
	Más favorable	Intermedio	Más desfavorable
Exigencias psicológicas	0 – 7	8 – 10	11 – 24
Trabajo activo y posibilidades de desarrollo	40 – 26	25 – 21	20 – 0
Inseguridad	0 – 1	2 – 5	6 – 16
Apoyo social y calidad de liderazgo	40 – 29	28 – 24	23 – 0
Doble presencia	0 – 3	4 – 6	7 – 16
Estima	16 – 13	12 – 11	10 – 0

Fuente: IBV (2011)

Extracción de Conocimiento a partir de Datos

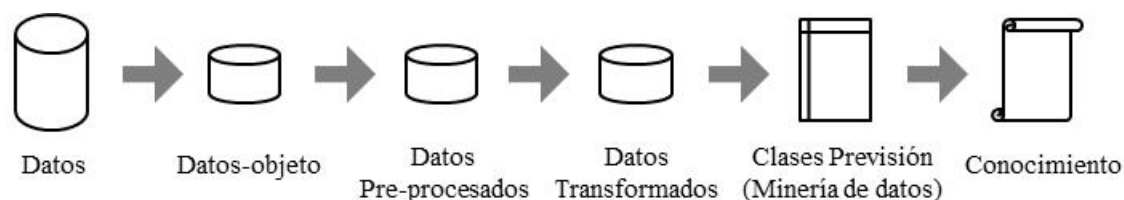
El descubrimiento de conocimiento a partir de datos (KDD, por el inglés knowledge discovery in databases) consiste en la extracción de información predictiva oculta en grandes bases de datos, y representa una tecnología con un gran potencial para las empresas, ya que permite focalizarse en la información más importante de sus depósitos de datos. Las herramientas del KDD pueden identificar patrones válidos, nuevos, potencialmente útiles y comprensibles, y en general, predecir tendencias y comportamientos futuros, propiciando así la proactividad, mediante decisiones basadas en conocimiento, que de otra manera consumiría demasiado tiempo (Zhang, Zhang y Wu, 2004). Dentro de las disciplinas que han contribuido a su desarrollo, destacan: la inteligencia artificial, la probabilidad y estadística, la teoría de control y la teoría de la información (García-Serrano, 2009).

El proceso de KDD incorpora muy diferentes técnicas de diversos campos (árboles de decisión, regresión lineal, redes neuronales artificiales, técnicas bayesianas, máquinas de soporte vectorial, entre otras) y permite abordar una tipología variada de problemas tales como: clasificación, categorización, estimación/regresión y agrupamiento (Pérez y Santín, 2007). Dentro de sus múltiples ámbitos de aplicación, García-Serrano (2009) resalta: la banca y finanzas para la detección de uso fraudulento de tarjetas de crédito por ejemplo, el análisis de mercado para el análisis de la mezcla de compra o la segmentación de clientes, en recursos humanos para la detección del perfil de los empleados más exitosos, en medicina para el diagnóstico de enfermedades (como la que se plantea en esta

investigación), en informática para la detección de correo basura o la clasificación de páginas web.

La extracción de conocimiento con base en datos es un proceso sistemático, iterativo y complejo, que comprende una serie de etapas. Al respecto, se han desarrollado algunos procesos estándar para conducirlo, como es el caso de la metodología SEMMA (Sample, Explore, Modify, Model, Assess), desarrollada por el Instituto SAS (Statistical Analysis Systems). Esta metodología propone cinco pasos: a. tomar una muestra, referido a la extracción de una porción de un gran conjunto de datos, para lo cual se puede recurrir a la estrategia de muestreo para obtener una muestra confiable y representativa estadísticamente; b. explorar, para buscar tendencias imprevistas y anomalías y así obtener una mejor comprensión del conjunto de datos, para lo cual se puede realizar una exploración visual o mediante técnicas estadísticas; c. modificar, en donde se crean, seleccionan y transforman variables sobre las cuales se focaliza el proceso de construcción del modelo; ya que puede ser necesario manipular los datos para incluir información o introducir nuevas variables, o reducir el número de variables hasta las más significativas; d. modelar, a través del cual se busca una combinación de variables que prediga confiablemente una salida deseada, es decir, que explique patrones en los datos, para lo cual se pueden utilizar distintas técnicas de modelado como redes neuronales, árboles de decisión, modelos logísticos, entre otros; e. evaluar, en donde se prueba la utilidad del modelo y se evalúa su confiabilidad, y de esta manera estimar qué tan bien funciona (Olson y Delen, 2008).

En esencia, la mayoría de metodologías plantean un procedimiento muy similar, que en términos más generales abarca las etapas de: definición del problema, pre-procesamiento de datos, minería de datos y post minería de datos (Pérez, 2007; Zhang, Zhang y Wu, 2004), las cuales se describen en los apartados siguientes. En la Figura 22 se presenta un esquema que resume este proceso de generación de conocimiento en bases de datos (KKD).



Fuente: Vieira, Ortiz y Ramírez (2009)

Figura 22. Proceso del KDD

A continuación se describen los pasos generales que conlleva el proceso de extracción de conocimiento a partir de datos, que abarca desde la definición del problema hasta la post minería de datos.

Definición del problema

Los objetivos del proyecto de extracción de conocimiento deben ser identificados, al igual que la data a ser usada. Vieira, Ortiz y Ramírez (2009) señalan que la respuesta a una pregunta mal formulada queda comprometida desde el inicio del proceso, por lo tanto es fundamental conocer lo que el usuario realmente desea. Algunas de las tareas que pudieran desencadenarse en esta etapa inicial incluyen: entrevistar al usuario final y al responsable del mantenimiento de los datos, compilar documentación, seleccionar medios de comunicación y almacenamiento, e identificar herramientas.

Pre-procesamiento de datos

Con frecuencia los datos contienen componentes ruidosos y erróneos, y pueden tener valores perdidos; además, existe la posibilidad de que hayan sido registradas variables redundantes o irrelevantes. Por lo tanto, es necesaria una fase de preparación que permita la transformación de los datos originales a un formato adecuado para ser usado por las herramientas de la minería de datos.

Dentro de esta etapa se incluye la recolección, depuración, integración, selección y transformación de los datos (Zhang, Zhang y Wu, 2004).

1. La recolección permite obtener los datos necesarios desde varias fuentes internas y externas.
2. La depuración o limpieza de los datos (data cleaning) verifica y resuelve conflictos en los datos, valores atípicos, ruido, errores, datos perdidos y ambigüedad. Se deben eliminar el mayor número posible de datos erróneos o inconsistentes, incluyendo registros duplicados, y de datos irrelevantes. Para ello se disponen de: técnicas de análisis exploratorio de datos tales como histogramas y diagramas de caja, que ayudan a detectar datos anómalos o atípicos; técnicas de imputación para reemplazar valores perdidos; y técnicas de

discretización para transformar datos continuos en discretos. Además la presencia de datos atípicos y valores perdidos conlleva la posibilidad de usar algoritmos robustos a este tipo de datos y filtrar información (Pérez, 2007).

3. La integración consiste en formar fuentes de datos múltiples, heterogénea, en una sola fuente; además usa conversiones y combinaciones para generar nuevos campos de datos.

4. La selección es el proceso en el que se escogen las características necesarias y suficientes para representar la data; su propósito es descartar, del conjunto total de factores, aquellos que sean redundantes e irrelevantes, y de esta forma simplificar la dimensionalidad de los datos a ser utilizados en la construcción del modelo, y facilitar su interpretación. Los atributos redundantes se encuentran muy correlacionados con otros atributos y por lo tanto no aportan valor significativo a los resultados esperados del modelo, sino por el contrario hacen más lento el proceso de aprendizaje e inclusive pueden confundir a algunos clasificadores. Los atributos irrelevantes por su parte, son aquellos que no guardan relación con el concepto resultante, son atributos distractores que solo perjudican la calidad de los resultados.

Zhang, Zhang y Wu (2004) mencionan que numerosos estudios han mostrado que la inclusión de variables irrelevantes puede ocultar o alterar el verdadero agrupamiento de la data, por lo que sólo aquellas variables que ayuden a discriminar el agrupamiento deberían ser incluidas en el análisis. Por otro lado, el número de variables utilizadas en la minería de datos es una consideración importante; generalmente hay una tendencia a usar más y más variables; sin embargo, mayor dimensionalidad tiene un efecto adverso, porque hace que el espacio de datos multidimensionales sea disperso. La inclusión de variables relevantes también puede ocasionar fallas en la identificación de los agrupamientos; una dificultad práctica en minería de datos industriales es saber si se han incluido todas las variables importantes en los registros de datos.

En definitiva, la aplicación de técnicas de selección de atributos permite obtener: menos datos, por lo cual los clasificadores pueden aprender más rápido; mayor exactitud, que hace que el clasificador generalice mejor; resultados más simples, que facilita su comprensión; y menos atributos, lo que evita recolectarlos posteriormente. La eliminación de atributos

irrelevantes y redundantes produce un conjunto de datos (*data set*) representativo, reproducible y confiable (Ruiz, 2006; Vieira et al, 2009).

5. La transformación es donde los datos son consolidados o transformados a una forma apropiada para la minería mediante la realización de las operaciones de resumen y agregación. Entre las técnicas avanzadas de transformación se encuentran la reducción y aumento de la dimensión. Es una etapa opcional que surge cuando los datos necesitan una transformación tal como: convertir datos numéricos a categóricos o viceversa, reducir la dimensionalidad, normalizar valores, simplificar datos, entre otros.

Minería de datos

La minería de datos (*data mining*) ha sido tratada como sinónimo del KDD, aunque para algunos investigadores es sólo una etapa de este, pero sí el núcleo del descubrimiento de conocimiento. La minería de datos deriva su nombre de las similitudes entre buscar información valiosa en una gran base de datos y la minería de una montaña en una veta de mineral valioso. Ambos procesos requieren tamizar a través de una inmensa cantidad de material para encontrar exactamente donde reside el valor (Zhang, Zhang y Wu, 2004).

La minería de datos es el proceso de descubrir conocimiento tal como patrones, perfiles, tendencias y relaciones significativas, en grandes cantidades de datos almacenados en bases de datos u otros repositorios de información. Su propósito se enfoca a: la predicción de tendencias y conductas (preguntas que tradicionalmente requerían extensivo análisis manual, ahora pueden ser respondidas rápida y directamente desde los datos) y el descubrimiento de patrones desconocidos previamente (herramientas de minería de datos barren a través de bases de datos, y en un paso identifican patrones ocultos previamente).

Su origen se debe a la disponibilidad de grandes cantidades de datos, unido al uso generalizado de herramientas informáticas, lo que trajo como consecuencia una transformación del análisis multivariante tradicional. De esta manera, la minería de datos se orienta al análisis de datos mediante el uso de tecnologías de reconocimiento de patrones, redes neuronales, lógica difusa, algoritmos genéticos u otras técnicas estadísticas avanzadas de análisis multivariante de datos (Pérez C., 2004).

Para Palma, Palma y Pérez (2009) la minería de datos integra metodologías estadísticas y computacionales y un enfoque desde las ciencias de la conducta, para el análisis de datos y la generación de modelos matemáticos descriptivos y predictivos. Al respecto, Aluja (2001) señala que la minería de datos es una prolongación de una rama estadística de gran trayectoria, la del análisis de datos; y agrega que además existe un aporte propio a través de técnicas específicas de inteligencia artificial, en particular las relacionadas a la integración de algoritmos, automatización del proceso y optimización. Este aporte facilita el tratamiento de ficheros de datos de forma masiva y automática, lo que constituye una realidad cada vez más habitual.

Entre sus innumerables aplicaciones, estos autores resaltan: problemas de clasificación de riesgo, estudio de asociación de factores sobre una respuesta de interés variable, estudio del comportamiento de variables y distinguir entre diversos grupos de objetos o individuos.

Las técnicas de las que se vale la minería de datos para el análisis de los datos se pueden clasificar en tres grupos: técnicas de modelado originado por la teoría, técnicas de modelado originado por los datos y técnicas auxiliares, que son herramientas más limitadas basadas en técnicas estadísticas descriptivas. En la Tabla 21 se listan las principales técnicas de minería de datos, clasificadas según el grupo al que pertenecen.

Tabla 21. Clasificación de las técnicas de minería de datos

Técnicas de modelado dirigido por la teoría	Análisis de la varianza y covarianza Regresión y asociación Series temporales Análisis discriminante
Técnicas de modelado dirigido por los datos	Análisis clúster (clasificación) Análisis factorial (reducción) Escalamiento multidimensional Escalamiento óptimo Árboles de decisión Redes neuronales Análisis conjunto
Técnicas auxiliares	Proceso analítico de transacciones Reporting

Fuente: Pérez C. (2004)

Para las técnicas de modelado basado en la teoría, debe especificarse el modelo para los datos de acuerdo al conocimiento teórico previo; el cual debe contrastarse al final para su

validación. En general, las fases que debe llevar la aplicación de un modelo, según Pérez C. (2004), son: a. identificación objetiva, que consiste en identificar el mejor modelo posible que ajuste los datos; b. estimación, referido al cálculo de los parámetros del modelo seleccionado para los datos; c. diagnóstico, que es el proceso de contraste de la validez del modelo estimado; d. predicción, concerniente a la anticipación de valores futuros de las variables dependientes a partir del modelo identificado, estimado y validado.

En las técnicas de modelado basado en los datos, no es necesario suponer un modelo teórico previo para los datos, sino que estos se crean automáticamente a partir del reconocimiento de patrones. El modelo se genera posteriormente con base en los resultados obtenidos y de los conocimientos previos, debiéndose contrastar antes de su validez. Tal es el caso de las redes neuronales artificiales, las cuales permiten generar modelos complejos que luego son mejorados a medida que progresa la exploración de datos. Este tipo de técnicas pueden ser utilizadas para el desarrollo de modelos que describan explícitamente los riesgos asociados con varios diseños de trabajo para que puedan realizarse evaluaciones específicas y cuantitativas del puesto de trabajo (Chadna et al, 2010).

Vieira, Ortiz y Ramírez (2009) enfatizan en la identificación de dos tipos generales de modelos: de predicción y de descripción, por lo que ésta representa la primera decisión a tomar en la minería de datos. Agregan que los modelos predictivos constituyen modelos de clasificación supervisada con argumento categórico, mientras que los modelos descriptivos se identifican como modelos de clasificación no supervisada con argumentos categóricos o continuos. Aunque pudiera resultar relativamente fácil identificar a qué clase de modelo pertenece un problema en estudio, la selección del modelo y el ajuste de sus parámetros, no lo es.

No existe el modelo perfecto ni tampoco el ajuste perfecto de los parámetros, por lo que debe aceptarse la incertidumbre del modelo, y realizar deducciones a partir de un conjunto de opciones posibles; la minería de datos es una ciencia experimental. Estos autores sugieren los métodos señalados en la Tabla 22, de acuerdo a la clase de modelo, siendo la segunda clase (modelos de predicción con variables de entrada continuas, enteras o categóricas y salida categórica) la que concuerda con los planteamientos de este estudio.

Tabla 22. Métodos sugeridos por clase de modelo

Clase de modelo	Métodos sugeridos
Modelos de predicción con variables de entrada y salida continuas	Toda la familia de métodos de regresión: lineal, no lineal, univariada y multivariada
Modelos de predicción con variables de entrada continuas, enteras o categóricas y salida categórica	Regresión logística, árboles de clasificación, análisis discriminante, redes neuronales
Modelos de descripción con variables de entrada continuas, discretas o categóricas y salida categórica	Análisis clúster, análisis de asociación, redes neuronales

Fuente: Vieira, Ortiz y Ramírez (2009)

Pérez (2007) también plantea una clasificación de las técnicas de minería de datos, en función del objetivo planteado en el KDD (ver Tabla 23). Se puede apreciar que las técnicas de clasificación pueden pertenecer tanto al grupo de las técnicas predictivas como descriptivas; así las técnicas de clasificación predictivas se les denomina técnicas de clasificación ad hoc, debido a que clasifican individuos u observaciones dentro de grupos previamente definidos, mientras que las técnicas de clasificación descriptivas se les identifica como post hoc por realizar la clasificación sin especificación previa de los grupos. Desde este punto de vista, el interés de esta investigación recae en las primeras.

Tabla 23. Clasificación de las técnicas de minería de datos

Tipo	Técnicas
Predictivas	Regresión
	Análisis de la varianza y covarianza
	Series temporales
	Métodos bayesianos
	Algoritmos genéticos
	Clasificación ad hoc
Descriptivas	Discriminante
	Árboles de decisión
	Redes neuronales
	Clustering
	Segmentación
	Clasificación post hoc
	Asociación
	Dependencia

Post minería de datos

En esta etapa se incluye la evaluación del patrón, el desarrollo del modelo, su mantenimiento y la presentación del conocimiento (output). La evaluación del patrón se refiere a la identificación de patrones realmente interesantes para representar el conocimiento, con base en ciertas medidas interesantes y prueba de la precisión del modelo sobre un conjunto de datos independientes (no usado para crear el modelo); el desarrollo del modelo puede requerir la construcción de sistemas computarizados que capturen la data apropiada y genere una predicción en tiempo real para una oportuna toma de decisión; el mantenimiento está relacionado a la constante revalidación requerida por el modelo, usando nuevos datos para evaluar si es todavía apropiado, ya que las cosas suelen cambiar con el tiempo y el modelo que fue correcto ayer podría no serlo mañana; la presentación o difusión del nuevo conocimiento consiste en hacer partícipe del mismo a todos los posibles usuarios.

Weka

En la actualidad, una de las plataformas de software diseñadas para la minería de datos y el aprendizaje automático en general, es el Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) o entorno para el análisis del conocimiento de la Universidad de Waikato de Nueva Zelanda. El Weka consta de un conjunto de herramientas de visualización y algoritmos para análisis de datos y modelado predictivo, que permite ejecutar tareas tales como el pre-procesamiento de datos, clasificación, regresión, visualización y selección (Witten y Frank, 2005).

Entre sus principales ventajas se pueden mencionar: está disponible en formato libre (GNU General Public License) que indica que es de libre distribución y difusión, puede correr en cualquier plataforma (incluyendo Windows) por estar implementado en Java, dispone de una extensa colección de técnicas para modelado, y es fácil de utilizar por principiantes.

El modo más utilizado y descriptivo del programa es el de explorador (*Explorer*), el cual permite realizar operaciones sobre un solo archivo de datos. Weka trabaja con un formato denominado *arff* (*Attribute-Relation File Format*), el cual se compone de tres partes: cabecera, declaraciones de atributos y sección de datos (García, 2004).

A continuación se describen algunos de los métodos más importantes, correspondientes a las fases de: selección, clasificación y evaluación o validación.

Métodos de selección

En general, los métodos de selección de características o atributos buscan a través de subconjuntos de atributos y tratan de encontrar el mejor subconjunto entre los candidatos, de acuerdo a alguna medida de evaluación. Sin embargo, un procedimiento enfocado en buscar sólo al mejor, es exhaustivo y puede resultar prohibitivo desde el punto de vista práctico y de costo. De allí que otros métodos basados en heurísticas o búsqueda aleatoria intentan reducir la complejidad computacional, comprometiendo la optimización, valiéndose de un criterio de parada. Dash y Liu (2003) identifican cuatro pasos básicos en un método de selección de atributos típico: a. un procedimiento de generación, encargado de formar el próximo subconjunto candidato a ser evaluado; b. una función de evaluación, que permite valorar el subconjunto candidato; c. un criterio de parada, que indicara en que momento detener la búsqueda; y d. un procedimiento de validación, para verificar si el subconjunto es válido.

Dentro del modo explorador de Weka se dispone de un apartado destinado a la selección de atributos (*Select attributes*), como parte de la fase de pre-procesamiento de los datos, el cual permite identificar los atributos que tienen mayor peso al momento de conocer si los datos son de una u otra clase.

En la Tabla 24 se presentan algunos de los métodos de selección de atributos disponibles en Weka, clasificados en dos grupos según la salida del algoritmo: los métodos que realizan la selección buscando el espacio de subconjuntos de atributos y evaluando cada uno, y los métodos que evalúan los atributos individualmente y los ordena.

Normalmente la selección se realiza según los primeros, ya que a pesar de que el segundo enfoque es más rápido, es menos preciso (Witten y Frank, 2005). Por tal razón, en esta

investigación se utilizaran evaluadores de subconjunto de atributos, además de que permiten evaluar a los atributos de forma conjunta.

Con relación a la medida de evaluación utilizada, los algoritmos de selección de atributos pueden tener dos enfoques diferentes. El primero consiste en hacer una evaluación independiente basada en características generales de los datos, se le denomina comúnmente método filtro (*filter*) porque el conjunto de atributos se filtra para generar el subconjunto más prometedor antes de iniciar el aprendizaje. El segundo consiste en evaluar el subconjunto utilizando el algoritmo que en última instancia se empleará en el aprendizaje, por lo que se le denomina método envolvente (*wrapper*), justamente porque el algoritmo de aprendizaje se envuelve en el procedimiento de selección (Witten y Frank, 2005).

Tabla 24. Métodos de selección de atributos en Weka

Tipo	Nombre	Función
Evaluador de subconjunto de atributos	<i>CfsSubsetEval</i>	Considera el valor predictivo de cada atributo individualmente, y el grado de redundancia entre ellos. Se basa en correlaciones.
	<i>ClassifierSubsetEval</i>	Usa un clasificador para la evaluación
	<i>ConsistencySubsetEval</i>	Proyecta conjunto de formación en conjunto de atributos y mide la consistencia en valores de clase
	<i>CostSensitiveSubsetEval</i>	Usa un evaluador sensible a costo
	<i>FilteredSubsetEval</i>	Clasifica un evaluador arbitrario que se ha pasado a través de un filtro arbitrario
	<i>WrapperSubsetEval</i>	Usa un clasificador más validación cruzada
Evaluador de atributo simple	<i>ChiSquaredAttributeEval</i>	Calcula el estadístico Chi-cuadrado de cada atributo con respecto a la clase
	<i>CostSensitiveAttributeEval</i>	Usa un evaluador sensible a costo
	<i>FilteredAttributeEval</i>	Clasifica un evaluador arbitrario que se ha pasado a través de un filtro arbitrario
	<i>GainRatioAttributeEval</i>	Se basa en una relación de ganancia
	<i>InfoGainAttributeEval</i>	Se basa en una ganancia de información
	<i>OneRAttributeEval</i>	Utiliza la metodología <i>OneR</i>
	<i>PrincipalComponents</i>	Realiza el análisis y transformación de componentes principales
	<i>ReliefFAttributeEval</i>	Realiza evaluación basado en instancia
	<i>SVMAttributeEval</i>	Utiliza una máquina de soporte vectorial lineal para determinar valor de atributos
	<i>SymmetricalUncerAttributeEval</i>	Se basa en incertidumbre simétrica

Fuente: Witten y Frank (2005)

Dado que inicialmente no se ha establecido un método de clasificación a utilizar, y por el alto costo computacional que implica llevar a cabo un proceso completo de entrenamiento y evaluación en cada paso de búsqueda, se ha optado en la presente investigación por emplear métodos tipo filtros, específicamente los métodos *CfsSubsetEval* y *ConsistencySubsetEval*, los cuales son más rápidos, generales y versátiles a la hora de cambiar de un algoritmo de aprendizaje a otro (Hall, 1999). A continuación se describen estos métodos de selección.

1. *CfsSubsetEval*.

El *CfsSubsetEval* es un método de selección de atributos basado en correlaciones (*correlation-based feature selection*), que considera el valor predictivo de cada atributo individualmente, junto con el grado de redundancia entre ellos; de esta forma intenta obtener el conjunto de atributos más correlacionado con la clase y con menos correlación entre sí. Su origen se le debe a los trabajos realizados por Hall (1999) y tiene su base en la función de evaluación del subconjunto de atributos:

$$M_s = \frac{k\overline{r_{cf}}}{\sqrt{k + k(k-1)\overline{r_{ff}}}}$$

Donde M_s es el “mérito” heurístico del subconjunto de atributos S que contiene k atributos; $\overline{r_{cf}}$ es la media de la correlación atributo-clase ($f \in S$), y $\overline{r_{ff}}$ es el promedio de la inter-correlación entre atributos. De hecho, la ecuación anterior es el coeficiente de correlación de Pearson, donde todas las variables han sido estandarizadas. El numerador puede ser considerado como un indicativo de cuán predictivo de la clase, son un conjunto de atributos; mientras el denominador de cuánta redundancia hay entre los atributos; de manera que la ecuación impone una clasificación en el espacio de búsqueda de todos los subconjuntos de atributos posibles (Hall, 1999).

En la Figura 23 se muestran las etapas del algoritmo CFS y cómo éste encaja dentro del esquema de aprendizaje automático. El algoritmo calcula las correlaciones atributo-clase y atributo-atributo y luego busca el espacio de subconjunto de atributos. El subconjunto con el mérito más alto encontrado (según la ecuación anterior) es usado para reducir la dimensionalidad de la data.

2. *ConsistencySubsetEval*.

El método *ConsistencySubsetEval* evalúa conjuntos de atributos por el grado de consistencia en los valores de clase cuando las instancias de entrenamiento son proyectadas en el conjunto (Witten y Frank, 2005).

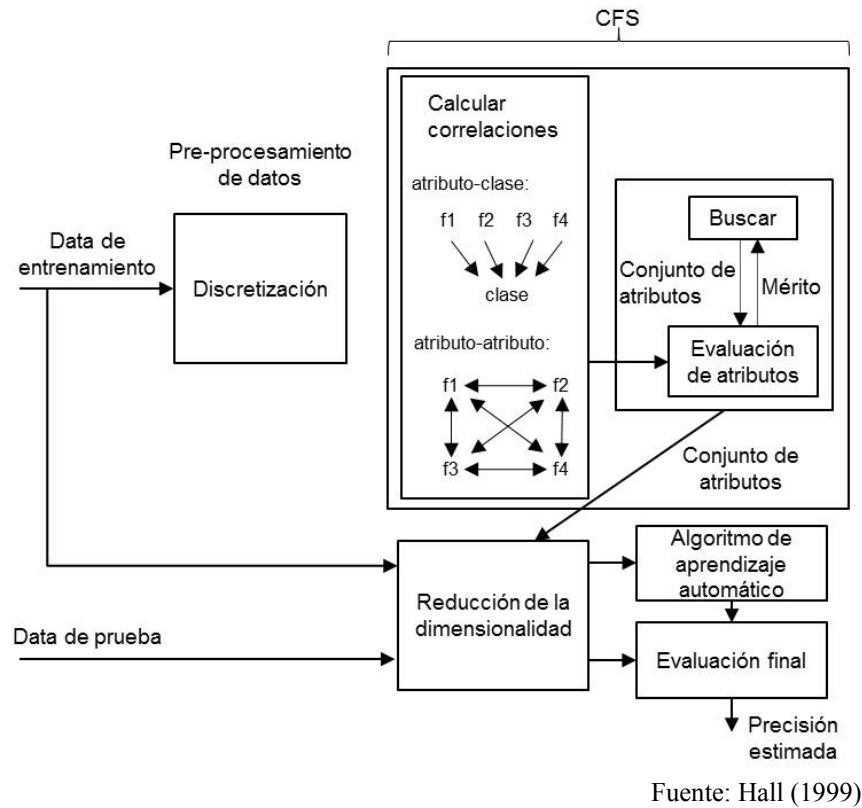


Figura 23. Método de selección CFS

La medida de consistencia es definida por la tasa de inconsistencia U en el conjunto de datos, para un subconjunto de atributos dado. Si se denomina “patrón” a la parte de la instancia sin la etiqueta de clase, entonces para un subconjunto de atributos S con $nf_1, nf_2, \dots, nf_S$ número de valores para los atributos $f_1, f_2, \dots, f_S$, respectivamente, hay a lo sumo $nf_1 * nf_2 * \dots * nf_S$ patrones (Dash y Liu, 2003).

Dicha tasa de inconsistencia es calculada como sigue:

- Un patrón es considerado inconsistente si existen por lo menos dos casos que coinciden en todo, menos en sus etiquetas de clases.

- b. El recuento de inconsistencia para un patrón de un subconjunto de atributos es el número de veces que aparece en la data menos el número más grande entre diferentes etiquetas de clase. Por ejemplo, suponga que para un subconjunto de atributos S , un patrón p aparece en n_p casos, de los cuales c_1 casos tienen la etiqueta 1, c_2 tienen etiqueta 2, y c_3 tienen etiqueta 3, donde $c_1+c_2+c_3=n_p$. Si c_3 es la cantidad más grande entre los tres, el recuento de inconsistencia es: $n-c_3$.
- c. La tasa de inconsistencia de un subconjunto de atributos S , $I_R(S)$, es la suma de todos los recuentos de inconsistencias sobre todos los patrones del subconjunto de atributos que aparece en la data, dividido por P (número total de casos, $\sum n_p$).

De esta forma, dado un subconjunto de atributos candidato S , se calcula su tasa de inconsistencia $I_R(S)$. Si $I_R(S) \leq \delta$, donde δ es una tasa de inconsistencia umbral dada por el usuario, el subconjunto S se dice que es consistente. Este umbral no es otra cosa que un error tolerable, lo que permite adaptarse a las características de consistencia de una data real, usualmente con ruido. Si δ se establece en 0% entonces puede ocurrir que ningún subconjunto de atributos pueda satisfacer la estricta condición (Dash y Liu, 2003).

Sin embargo, el proceso de selección supervisada consta de dos componentes: el método de evaluación, que es la función que determina la calidad del subconjunto de atributos para discriminar la clase (descritos anteriormente); y el método o estrategia de búsqueda, que se refiere a la forma como se realiza la exploración de subconjuntos, a través del espacio de búsqueda. Dentro de las estrategias de búsqueda disponibles en Weka, se encuentran las listadas en la Tabla 25, de las cuales la estrategia *Ranker* solo puede utilizarse para evaluadores de atributo simple, por lo que se excluye en esta investigación.

Tabla 25. Estrategias de búsqueda para selección de atributos

Nombre	Función
<i>BestFirst</i>	Búsqueda usando <i>greedy hill-climbing</i> con retroceso
<i>ExhaustiveSearch</i>	Búsqueda exhaustiva
<i>GeneticSearch</i>	Búsqueda usando un algoritmo genético simple
<i>GreedyStepwise</i>	Búsqueda usando <i>greedy hill-climbing</i> sin retroceso
<i>LinearForwardSelection</i>	Toma en cuenta un número restringido de k atributos
<i>RandomSearch</i>	Búsqueda aleatoria
<i>RankSearch</i>	Ordena atributos usando evaluador de subconjuntos
<i>ScatterSearchVI</i>	Búsqueda dispersa en espacio de subconjuntos

<i>SubsetSizeForwardSelect</i>	Extensión de <i>LinearForwardSelection</i>
<i>Ranker</i>	Ordena los atributos individuales según evaluación

Fuente: Witten y Frank (2005)

La estrategia *BestFirst* (mejor primero) se fundamenta en la técnica de búsqueda local denominada *hill-climbing* (ascenso de colinas) con retroceso, la cual consiste en ir analizando lo que mejora y empeora un grupo de atributos al agregar elementos, con la posibilidad de hacer retrocesos. Puede buscar hacia adelante desde el conjunto vacío de atributos, hacia atrás desde el conjunto completo, o comenzar en un punto intermedio buscando en ambas direcciones, considerando todas las posibles adiciones y eliminaciones de atributos. El criterio de parada utilizado viene dado por una cantidad de nodos consecutivos no mejorados establecida (Witten y Frank, 2005). El método *ExhaustiveSearch* (búsqueda exhaustiva) por su parte, realiza una búsqueda minuciosa a través del espacio de los subconjuntos de atributos comenzando desde un conjunto vacío de atributos, reportando de esta forma el mejor subconjunto encontrado.

La estrategia *GeneticSearch* (búsqueda genética) realiza la búsqueda a través de un algoritmo genético simple; el cual tiene su fundamento en el proceso genético de los organismos vivos. Un algoritmo genético consiste en una función matemática o rutina de software que trabaja con una población de “individuos”, cada uno de los cuales representa una solución factible. A cada individuo se le asigna una puntuación (bondad), de manera que cuanto mayor sea la adaptación del “individuo” al problema, mayor será la probabilidad de que el mismo sea seleccionado para reproducirse, cruzando parte de su información con otro “individuo” seleccionado de igual forma. Este cruce da lugar a nuevos “individuos” con mejores características de adaptación (Goldberg, 1989).

El método *GreedyStepwise* (algoritmo voraz) realiza una búsqueda voraz hacia adelante o hacia atrás a través del espacio de subconjuntos de atributos, similar al *BestFirst*; aunque se diferencia de éste en que no da marcha atrás. Termina tan pronto como al agregar o eliminar el mejor atributo restante, disminuye la métrica de evaluación (Witten y Frank, 2005). El método *LinearForwardSelection* (selección lineal hacia adelante) es una variación del *BestFirst*, el cual realiza una selección hacia adelante tomando en cuenta un número limitado de k atributos, basado en un ranking (Gütlein et al, 2009).

La estrategia *RandomSearch* (búsqueda aleatoria) realiza una búsqueda al azar en el espacio de subconjuntos de atributos. Si se suministra un conjunto inicial, el método busca subconjuntos que mejoren o iguallen el punto de inicio y tenga menos o la misma cantidad de atributos. El método *RankSearch* (búsqueda ordenada) clasifica los atributos usando un evaluador de atributo individual y luego ordena subconjuntos prometedores de tamaño creciente usando un evaluador de subconjuntos (Witten y Frank, 2005).

El método *ScatterSearchVI* (búsqueda dispersa) realiza una búsqueda de dispersión a través del espacio de subconjuntos de atributos; comienza con una población de muchos subconjuntos significantes y diversos, y se detiene cuando el resultado es mayor que un umbral dado o cuando no hay más mejora. Finalmente, la estrategia *SubsetSizeForwardSelect* es una extensión de *LinearForwardSelection* cuya búsqueda realiza una validación cruzada interior, además determina el tamaño óptimo de subconjunto. Luego, realiza un *LinearForwardSelection* sobre la data completa hasta el tamaño óptimo de subconjunto.

Métodos de clasificación

Los algoritmos de clasificación forman parte de los denominados algoritmos de aprendizaje automático supervisado, y su objetivo es el de proporcionar modelos que permitan clasificar nuevas instancias con un valor concreto para su clase, nominal o numérica. Dentro de los algoritmos de aprendizaje automático también forman parte los algoritmos de agrupamiento (clustering) y los de asociación, aunque estos se les reconoce como no supervisados (García-Serrano, 2009). Partiendo de las características del modelo que proporcionan y de la fundamentación teórica en que se sustentan, el citado autor diferencia distintas categorías de algoritmos de clasificación: de reglas, de árboles, de Bayes, perezosos y meta-algoritmos.

De forma similar, Weka dispone de una librería de métodos diversos de clasificación o clasificadores, los cuales se encuentran agrupados en los siguientes tipos: *Bayes*, que tiene su basamento en el teorema de Bayes para la toma de decisiones; *Functions*, referidos a aquellos algoritmos que podrían ser descritos utilizando ecuaciones matemáticas; *Lazy* o perezosos, son aquellos algoritmos que almacenan pero no trabajan con las instancias de entrenamiento hasta el momento de realizar la clasificación de otras instancias; *Rules*,

fundamentados en una o varias reglas ordenadas por importancia, a partir de las cuales se clasifica la instancia en función de sus atributos; *Trees*, referidos a aquellos que construyen árboles de decisión. Todos ellos se encuentran disponibles en el explorador de Weka, en la pestaña de clasificación de los datos (*Classify*), en la cual cada clasificador puede configurarse según el objetivo deseado.

En esta investigación se exceptuarán los pertenecientes al grupo de los métodos *lazy*, ya que en estos la generalización se retrasa hasta que se realiza una consulta al sistema, por lo que no generan un modelo de clasificación propiamente dicho (Palma, 2010). En la Tabla 26 se resumen los principales algoritmos disponibles en Weka, pertenecientes a cada uno de los grupos considerados.

Tabla 26. Métodos de clasificación en Weka

Tipo	Nombre	Función
<i>Bayes</i>	<i>NaiveBayes</i>	Clasificador Naïve Bayes probabilístico estándar
	<i>ComplementNaiveBayes</i>	Clasificador Naïve Bayes de complemento
	<i>NaiveBayesMultinomial</i>	Versión multinomial de Naïve Bayes
	<i>BayesNet</i>	Aprendizaje de redes bayesianas
	<i>DMNBtext</i>	Clasificador Naïve Bayes multinomial discriminativo
<i>Functions</i>	<i>Logistic</i>	Modelo de regresión logística multinomial
	<i>SimpleLogistic</i>	Modelo de regresión logística lineal
	<i>MultilayerPerceptron</i>	Red neuronal de retropropagación
	<i>RBFNetwork</i>	Red de función de base radial
<i>Rules</i>	<i>ConjunctiveRule</i>	Regla conjuntiva simple
	<i>DecisionTable</i>	Tabla de decisión simple
	<i>DTNB</i>	Híbrido de tabla de decisión y Naïve Bayes
	<i>JRip</i>	Algoritmo RIPPER para inducir regla rápida y eficaz
	<i>NNge</i>	Método de generación de reglas de vecino más cercano
	<i>OneR</i>	Predicción a partir del atributo de mínimo error
	<i>PART</i>	Reglas de árboles de decisión parcial
	<i>Ridor</i>	Reglas de aprendizaje considerando excepciones
	<i>ZeroR</i>	Predice la clase mayoritaria o el promedio
<i>Trees</i>	<i>ADTree</i>	Árbol de decisión alternativo
	<i>BFTree</i>	Árbol de decisión de mejor primero
	<i>DecisionStump</i>	Árbol de decisión de un nivel
	<i>FT</i>	Árbol funcional
	<i>J48</i>	Árbol de decisión C4.5
	<i>LADTree</i>	Árbol de decisión alternativo multi-clase
	<i>LMT</i>	Árboles de modelo logístico
	<i>NBTree</i>	Árbol de decisión con clasificador Naïve Bayes en hojas

<i>RandomTree</i>	Árbol que considera un número de características al azar
<i>REPTree</i>	Árbol que usa poda de error reducido
<i>SimpleCart</i>	Poda de mínimo costo-complejidad

Fuente: Witten y Frank (2005)

1. Métodos *Bayes*.

Los clasificadores *Bayes*, como ya se mencionó, tienen en común en que utilizan el teorema de Bayes en su toma de decisiones para clasificar. El gran aporte de los métodos bayesianos es que no sólo ofrece un análisis cualitativo de los atributos y valores que intervienen en el problema, sino da una medida probabilística de la importancia de esas variables (Malagón, 2003). Agrega el citado autor que la finalidad de usar teorema de Bayes es que se puede estimar la probabilidad a posteriori de cualquier hipótesis consistente con el conjunto de datos de entrenamiento. Entre los algoritmos propuestos para estimar estas probabilidades, sobresale el algoritmo Naïve Bayes.

El algoritmo Naïve Bayes supone un tamaño de la muestra asintóticamente infinito y atributos (variables independientes) independientes estadísticamente. Con estas premisas, se puede determinar la distribución de probabilidad de cada clase, y establecer la relación entre los atributos y la clase (variable dependiente). De esta forma, si se tiene una observación $o=(x_1, \dots, x_n)$, donde x_i es el valor correspondiente al i -ésimo atributo, la probabilidad a posteriori de que ocurra la clase y_j , con k valores posibles $(y_1, \dots, y_k)$ viene dada por la regla de Bayes:

$$P(y_j|x_1, \dots, x_n) = \frac{P(y_j) \prod_{i=1}^n P(x_i|y_j)}{P(x_1, \dots, x_n)}$$

Donde $P(y_j)$ es la proporción de la clase y_j en el conjunto de datos; $P(x_i|y_j)$ se calcula a partir de la proporción de observaciones con valor x_i y clase y_j . Éste cálculo requiere de que los valores x_i sean discretos, por lo que si se tiene algún atributo continuo, debe discretizarse previamente. La clasificación de una observación se realiza calculando las probabilidades condicionadas de cada clase y seleccionando la de mayor probabilidad.

Además del clasificador *NaiveBayes* estándar, Weka tiene disponibles otros clasificadores pertenecientes al grupo de los métodos *Bayes*, los cuales representan diferentes derivaciones del mismo. Los clasificadores *ComplementNaiveBayes* y *NaiveBayesMultinomial* parten del supuesto que la distribución de observaciones es

multinomial. El *BayesNet* (Redes bayesianas), que parte de las asunciones de que los atributos son nominales y no hay valores faltantes, puede utilizar varios algoritmos de búsqueda y medidas de calidad, tales como el denominado K2 (basado en búsqueda voraz sobre una ordenación de los atributos), u otros más sofisticados basados en recocido simulado, búsqueda tabú o algoritmos genéticos (Witten y Frank, 2005). El clasificador *DMNBtext* se basa en los trabajos de Su et al (2008), quienes plantearon un método de aprendizaje mediante parámetros discriminativos efectivos para redes bayesianas.

2. Métodos *Functions*.

Dentro de los clasificadores pertenecientes al grupo de *Functions* (funciones), los cuales pueden ser descritos a través de ecuaciones matemáticas, fueron considerados dos tipos generales: regresión logística y redes neuronales.

La regresión logística tiene como propósito modelar cómo influye la presencia de diversos factores y su valor, en la probabilidad de que ocurra o no, un suceso determinado, lo cual es bastante común en epidemiología. En este tipo de situaciones, la regresión lineal carece de aplicabilidad, ya que sus resultados tomarían cualquier valor, cuya interpretación sería absurda. Los únicos resultados posibles en este caso son 0 y 1, para indicar la ocurrencia o no del fenómeno (Álvarez, 2007).

Si se denota con Y el suceso dicotómico de interés, con $P(Y)$ a la probabilidad de su ocurrencia, y con $X_1, X_2, \dots, X_k$ a las variables que se presume pudieran influir en dicha probabilidad, el mejor modelo matemático que permite relacionar estas variables y a su vez, generan valores que oscilen entre 0 y 1, es el logístico, definido como:

$$P(Y) = \frac{1}{1 + e^{-(B_0 + B_1x_1 + \dots + B_kx_k)}}$$

Donde $(B_0, B_1, \dots, B_k)$ constituyen el vector de coeficientes de regresión logística.

Como complemento a los coeficientes de la regresión logística, resulta importante comprender los llamados *odds*. Los *odds* asociados a determinado suceso se definen como la razón entre la probabilidad de que dicho suceso ocurra y la probabilidad de que no

ocurra; en otras palabras, indica cuánto más probable es que se produzca frente a que no se produzca el hecho en estudio (Silva, 1994). Esto es:

$$O(Y) = \frac{P(Y)}{1 - P(Y)}$$

Dentro de los clasificadores disponibles en Weka, basados en regresión logística se encuentran el *SimpleLogistic* referido a modelos de regresión logística lineal y *Logistic* referido a modelo de regresión logística multinomial.

Las redes neuronales por su parte, se encuentran inspiradas en el modelo biológico, y constituyen generalizaciones de modelos estadísticos clásicos, cuyas innovaciones y ventajas radican en: el aprendizaje secuencial, la utilización de transformaciones de las variables originales para la predicción y la no linealidad del modelo (Aluja, 2001). Dentro de este grupo, destaca el clasificador *MultilayerPerceptron* (perceptrón multicapa), disponible en Weka, el cual usa retropropagación (*backpropagation*) para clasificar las instancias.

Una red neuronal artificial consiste en un conjunto de elementos computacionales simples unidos por arcos dirigidos, cada uno de los cuales tiene asociado un peso numérico w_{ij} , donde i representa la entrada y j la salida; este peso indica la significación de la información que llega por el respectivo arco. El perceptrón multicapa es una red neuronal formada por múltiples capas, que tienen la función de superar la limitación del perceptrón de resolver solo problemas linealmente separables. Las capas incorporadas se denominan capas ocultas y pueden variar en cantidad. De esta forma, la capa de entrada se encarga de asignar pesos a las entradas, luego la información pasa a las capas ocultas para su transformación y finalmente a la capa de salida, encargada de generar la respuesta de la red (Coello et al, 2015).

Adicionalmente se encuentra el clasificador *RBFNetwork*, que implementa una red de función de base radial gaussiana. Este tipo de red tiene dos capas, sin contar la capa de entrada, y difiere del perceptrón multicapa en la forma como las unidades ocultas realizan los cálculos. Cada unidad oculta representa un punto particular en el espacio de entradas, y su salida o activación para una instancia dada, depende de la distancia entre este punto y la instancia, la cual es justo otro punto. Esto se logra usando una función de transformación

no lineal para convertir la distancia en una medida de similitud, específicamente mediante una función de activación gaussiana en forma de campana. La capa de salida, al igual que en un perceptrón multicapa, se forma por la combinación lineal de las salidas de las unidades ocultas, y en problemas de clasificación, a través de la función sigmoide (Witten y Frank, 2005).

3. Métodos *Rules*.

Dentro de este grupo forman parte aquellos algoritmos que proporcionan modelos como conjuntos de reglas. En problemas de clasificación, una regla consta de antecedentes y el consecuente; este último referido a la distribución de las clases disponibles en el conjunto de datos. Weka pone a disposición una gran cantidad de algoritmos para la generación de reglas. El algoritmo *ConjunctiveRule* implementa una regla conjuntiva simple que puede predecir las etiquetas de clase numérica y nominal; si la instancia de prueba no es cubierta por esta regla, entonces se prevé utilizar la clase por defecto de la data, no cubierta por la regla. La información de cada antecedente es computada, y las reglas son podadas mediante la técnica de poda de error reducido (*REP*). El método *DecisionTable* (tabla de decisión) construye y utiliza una tabla de decisión simple, a partir de la cual evalúa subconjuntos de atributos usando la búsqueda de mejor primero. El algoritmo *DTNB* (*Decision Table / Naïve Bayes*) es un clasificador híbrido, en el que, en cada punto de la búsqueda, el algoritmo evalúa el mérito de dividir los atributos en dos subconjuntos: uno para la tabla de decisión y el otro para Naïve Bayes (Witten y Frank, 2005).

El método *JRip* implementa una regla de aprendizaje proposicional, a través del algoritmo denominado *RIPPER* (*Repeated Incremental Pruning to Produce Error Reduction*), referido a una estrategia de poda incremental repetida para producir la reducción del error. El algoritmo *NNge* se refiere a un método de vecino más cercano para la generación de reglas, utilizando ejemplares generalizados no anidados. El algoritmo *OneR* se basa en el atributo de mínimo error, discretizando los atributos numéricos. El algoritmo *PART* obtiene reglas a partir de árboles de decisión parcial, para lo cual emplea la heurística conocida como C4.5 para la construcción del árbol de decisión en cada iteración, y luego convierte la mejor hoja del árbol en una regla. El método *Ridor* implementa reglas de aprendizaje con excepciones; para ello genera la regla por defecto, usando poda incremental de error

reducido para encontrar las excepciones con la menor tasa de error, luego genera las mejores excepciones de cada excepción, de forma iterativa. Finalmente, el algoritmo *ZeroR* predice la clase mayoritaria de los datos de prueba si es nominal, o el valor medio si es numérica (Witten y Frank, 2005).

4. Métodos *Trees*.

Los clasificadores basados en árboles de decisión permiten obtener de forma visual las reglas de decisión bajo las cuales operan, lo que facilita su interpretación y representación del conocimiento adquirido. Ruiz (2006) señala que los sistemas basados en árboles de decisión se caracterizan por emplear la estrategia de “divide y vencerás” descendente, esto es, dividen el conjunto de datos en subconjuntos siguiendo determinado criterio de división; de esta forma, en la medida que el algoritmo avanza, el árbol crece y los subconjuntos de casos se hacen menos numerosos.

En términos generales, un árbol de decisión es una estructura conformada por un conjunto de nodos interiores N (no terminales) y un conjunto de hojas o ramas T (nodos terminales). Si S denota todo el espacio de instancias, que abarca todos los atributos que están presentes en los datos, entonces la estructura de árbol ofrece una subdivisión de S en regiones S_t , y cada región es representada por una rama en el árbol. Esto es:

$$S = \bigcup_{t \in T} S_t, \quad S_t \cap S_{t'} = \emptyset \text{ para } t \neq t'$$

En términos generales, pueden distinguirse dos grupos o familias de sistemas basados en árboles de decisión: la familia *ID3* (*Induction Decision Trees* ó árboles de decisión de inducción) y la familia de los árboles de regresión, empleados cuando la variable destino puede tomar valores continuos. El método *ID3*, desarrollado por Quinlan (1986), genera un árbol de decisión paralelo de forma recursiva, aplicando un criterio de división; cada nodo interno de este árbol contiene una prueba sobre uno de los atributos, de cuyo valor depende el camino a seguir para clasificar un caso, y cada hoja posee una etiqueta de clase. De esta manera, la clasificación de un caso se realiza recorriendo el árbol desde la raíz hasta una de las hojas que indicará la clase a asignar. El método se vale de una propiedad estadística llamada ganancia de información como heurística de selección de atributos para fijar una prueba; la cual se refiere a la reducción esperada de la entropía de los datos al conocer el

valor del atributo. En otras palabras, el atributo x_i seleccionado para realizar la división es aquel que mayor ganancia obtenga respecto a todo el conjunto de datos ε , según la ecuación:

$$Ganancia(\varepsilon, x_i) = Ent(\varepsilon) - \sum_{v=1}^{|x_i|} \frac{|\varepsilon(x_{iv})|}{|\varepsilon|} * Ent(\varepsilon(x_{iv}))$$

Donde $|x_i|$ es el número de valores distintos al del atributo x_i , $\varepsilon(x_{iv})$ es el subconjunto de ε para el cual $x_i = x_{iv}$, $|\varepsilon|$ es el número total de casos, y Ent es la entropía.

Posteriormente surge el método *C4.5* que corrige algunos inconvenientes presentados por *ID3*, como es la incapacidad para trabajar con atributos continuos y valores ausentes. Éste algoritmo ha sido uno de los sistemas clasificadores más referenciados en la bibliografía (Ruiz, 2006).

Algunos de los clasificadores *Trees* basados en una estrategia de inducción, disponibles en Weka, son: *ADTree*, *BFTree*, *DecisionStump*, *J48*, *LADTree* y *REPTree*. No obstante, otros clasificadores combinan los principios de árboles de inducción con estrategias diferentes; por ejemplo los clasificadores *FT* (*Functional Trees*) y *LMT* (*Logistic Model Trees*) son árboles de clasificación que incluyen funciones de regresión logística, o el clasificador *NBTree* (*Naïve Bayes Tree*) que incluye la metodología Naïve Bayes.

El clasificador *LMT* combina los modelos de regresión logística (mencionados en los métodos *functions*) con los árboles de inducción. Este clasificador consiste de una estructura de árbol de decisión estándar con funciones de regresión logística en sus ramas. Al igual que en los árboles ordinarios, una prueba sobre uno de los atributos está asociada con cada nodo interior; para un atributo nominal con k valores, el nodo tiene k derivaciones, y las instancias son ordenadas en las k ramas dependiendo de su valor del atributo (Landwehr, Hall y Frank, 2005).

En el caso del algoritmo *FT* propuesto por Gama (2004), se plantea el esquema de árbol de aprendizaje multivariante, el cual se fundamenta en la combinación de atributos en nodos de decisión, en las ramas, o en ambos; en otras palabras, combina un árbol de decisión univariado con una función lineal por medio de inducción constructiva, de manera que estos árboles son capaces de usar nodos de decisión con pruebas multivariadas, y nodos de

rama (encargados de hacer predicciones) utilizando funciones lineales. Los nodos de decisión multivariante son construidos en la fase de crecimiento del árbol, mientras las ramas funcionales son construidas en la etapa de poda del árbol.

Métodos de evaluación (Validación)

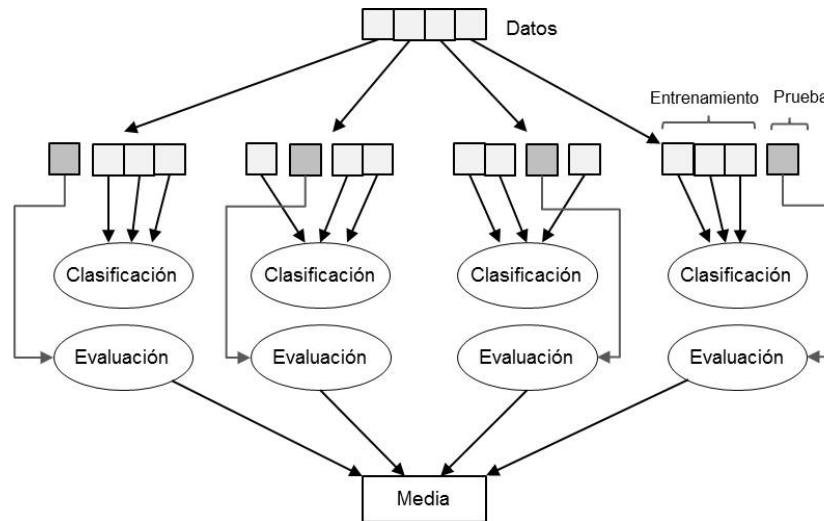
Una vez construido el modelo de clasificación, el siguiente paso en el proceso de KDD es su validación, es decir, la evaluación de su rendimiento, de manera de generar un determinado nivel de confianza para su posterior utilización, para lo cual fue desarrollado. Dicho nivel de confianza se obtiene a partir de los resultados positivos obtenidos en un conjunto de mediciones dispuestas para ello.

Weka proporciona cuatro opciones o modos distintos de llevar a cabo las pruebas de validación: a. *Use training set* (usar conjunto de entrenamiento), en el cual todos los datos disponibles son utilizados para la prueba, una vez que el mismo conjunto de datos sirviera para el entrenamiento del clasificador; b. *Supplied test set* (conjunto de prueba suministrado), en el que los datos son utilizados en su totalidad para el entrenamiento, y luego un fichero de datos proporcionado adicionalmente se utiliza para probar el método de clasificación obtenido con los datos iniciales; c. *Cross-validation* (validación cruzada), a través del cual se realiza una validación cruzada estratificada del número de particiones suministrado; d. *Percentage split* (porcentaje dividido), en el que se define un porcentaje para construir el clasificador y con el resto se prueba, generalmente 2/3 para el entrenamiento y 1/3 para la prueba (García, 2004).

Las técnicas de validación simple, como *supplied test set* o *percentage split*, que utilizan un conjunto de datos para construir el modelo y otro diferente para la validación, presentan el inconveniente de que se puede perder información útil en el proceso de inducción del clasificador, al utilizar una parte de las muestras disponibles, además de que requieren un mayor número de observaciones. Por tal razón, en la presente investigación se da preferencia a la técnica de validación cruzada (Ruíz, 2006).

En la validación cruzada todo el conjunto de datos es utilizado como entrenamiento y prueba, para ello se divide en k particiones mutuamente excluyentes, constituidas por aproximadamente la misma cantidad de casos. Luego, durante k veces, se deja uno de los subconjuntos para la prueba, y se entrena el sistema con los $k-1$ subconjuntos restantes,

variando el subconjunto que actúa como conjunto de prueba. De esta forma, la precisión estimada es la media de las k precisiones parciales (ver Figura 24). El número de particiones más utilizado, con el cual se obtienen los mejores resultados, es $k=10$ (Ruíz, 2006).



Fuente: Lang, 2011

Figura 24. Esquema de validación cruzada para $k=4$

A continuación se describen las principales medidas de desempeño de un clasificador, que permiten definir su validez.

1. Precisión

La precisión predictiva de un clasificador constituye la forma más habitual de medir su eficiencia. Dado que el clasificador debe tomar una decisión sobre la clase a asignar a cada nuevo caso que se presente, la precisión de un clasificador se define como el resultado de dividir el número de clasificaciones realizadas correctamente por el número total de casos. Ésta medida representa una buena estimación del comportamiento que tendrá el modelo con datos futuros desconocidos (Ruíz, 2006).

Dado un conjunto de datos ε conformado por m instancias $(\bar{x}_j, y_j)$, donde $j=1, \dots, m$, cada una formada por n valores de entrada $x_{i,j}$ con $i=1, \dots, n$ y un valor de salida y_j , y dado el clasificador δ , entonces la precisión Γ de un clasificador se determina por la expresión:

$$\Gamma(\varepsilon, \delta) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (\delta(\bar{x}_j) = y_j)$$

Donde, si $\delta(\bar{x}_j) = y_j$ se cuenta 1 y en cualquier otro caso 0.

2. Verdaderos y falsos positivos y negativos

Una forma más específica de medir los aciertos o errores de un clasificador, es a través de los denominados verdaderos o falsos positivos y negativos, los cuales pueden determinarse más fácilmente a partir de la construcción de una matriz de confusión. Una matriz de confusión no es más que una tabla de contingencia en la que se totalizan los aciertos y fallas cometidos por un clasificador en sus distintas categorías. En el caso de una predicción de dos clases, que pudieran llamarse sí y no o positivo y negativo (+ y −), la matriz de confusión consta de cuatro celdas, representativas de los cuatro diferentes posibles resultados, etiquetados en la Tabla 27 como: *VP*, *FP*, *FN* y *VN*.

Tabla 27. Matriz de confusión para una predicción de dos clases

		Clase predicha		Total de instancias
		+	−	
Clase real	+	VP	FN	P
	−	FP	VN	N

De esta manera, *VP* o verdaderos positivos representan el número de instancias positivas que son clasificadas como positivas; *FP* o falsos positivos el número de instancias negativas que son clasificadas como positivas; *FN* o falsos negativos el número de instancias positivas que son clasificadas como negativas; y *VN* o verdaderos negativos el número de instancias negativas que son clasificadas como negativas (Bramer, 2013). Los *VP* y *VN* son clasificaciones correctas realizadas por el clasificador, mientras que los *FP* y *FN* son predicciones incorrectas.

Estos valores permiten determinar además, la tasa de verdaderos positivos o sensibilidad, que es la capacidad del modelo de detectar como positivos las instancias realmente positivas; en otras palabras, relacionándolo con el tema que aquí se trata, es la capacidad de identificar las molestias musculoesqueléticas en individuos realmente enfermos. Dicho cálculo se efectúa mediante la expresión:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{VP}{VP + FN}$$

Similarmente, la tasa de verdaderos negativos o especificidad, es la capacidad del modelo de detectar como negativos las instancias realmente negativas; es decir, la capacidad de identificar la ausencia de molestias musculoesqueléticas en individuos realmente sanos. Su cálculo viene dado por la expresión:

$$\text{Especificidad} = \frac{VN}{VN + FP}$$

La tasa de éxito global, por lo tanto, es el número de clasificaciones correctas dividido por el número total de clasificaciones; lo cual corresponde al concepto de precisión señalado en el punto anterior.

3. Coeficiente *Kappa*.

El coeficiente *kappa* se utiliza para medir la concordancia entre categorizaciones predichas y observadas del conjunto de datos, corrigiendo la concordancia que ocurre por casualidad. Este coeficiente puede tomar valores entre -1 y $+1$; de manera que, mientras más cercano a $+1$, mayor es el grado de concordancia, y mientras más cercano a -1 , mayor el grado de discordancia. Un valor de 0 refleja que la concordancia observada es precisamente la que se espera a causa exclusivamente del azar (Cerdeja y Villarroel, 2008). De acuerdo a Fleiss, Levin y Cho (2003), el coeficiente *kappa* se determina de acuerdo a la expresión:

$$k = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e}$$

Donde p_o representa la proporción global de concordancias observadas, y p_e la proporción global de concordancias atribuibles al azar.

Sea la matriz de proporciones conjuntas de las clasificaciones reales y las estimadas por el modelo, para en una escala con k categorías, mostrada en la Tabla 28.

Tabla 28. Matriz de proporciones conjuntas en un modelo de k categorías

		Clase predicha				Total
		1	2	...	k	
Clase real	1	p_{11}	p_{12}	...	p_{1k}	p_{1t}
	2	p_{21}	p_{22}	...	p_{2k}	p_{2t}
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$

k	p_{k1}	p_{k2}	$\dots$	p_{kk}	p_{kt}
Total	p_{t1}	p_{t2}	$\dots$	p_{tk}	1

Entonces:

$$p_o = \sum_{i=1}^k p_{ii} \quad p_e = \sum_{i=1}^k p_{it} p_{ti}$$

El coeficiente kappa obtenido generalmente es asociado a una escala que expresa cualitativamente la fuerza de concordancia, tal como se aprecia en la Tabla 29.

Tabla 29. Valoración del coeficiente *kappa*

Coeficiente <i>kappa</i>	Fuerza de concordancia
< 0,00	Pobre
0,01 – 0,20	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Considerable
0,81 – 0,99	Casi perfecta

Fuente: Landis y Koch (1977)

Los índices de sensibilidad y especificidad se relacionan con la evaluación de la validez, mientras que el coeficiente kappa se utiliza típicamente en la evaluación de la fiabilidad (Szklo y Nieto, 2003).

4. Análisis ROC.

Se llama curva *ROC* (*Receiver Operating Characteristic* o característica operativa del receptor) a la representación gráfica de la sensibilidad frente a (1 – especificidad) para un sistema clasificador binario; en otras palabras, la representación de la tasa de verdaderos positivos frente a la tasa de falsos positivos. Su nombre se deriva de la teoría de detección de señales, donde tiene su origen. El uso de las curvas *ROC* en diferentes ámbitos de la medicina se deriva de su capacidad para resumir en una sola medida, la precisión o eficacia diagnóstica (como la planteada en esta investigación); ésta medida es el área bajo la curva *ROC*, conocida como *AUC* del inglés *Area Under Curve* (Concejero, 2004).

Cada resultado de predicción constituye un punto en el espacio *ROC*, el cual se refiere al espacio cuadrado circunscrito en los puntos (0,0) y (1,1) en un sistema de dos coordenadas. De esta forma, el punto (0,0) representa la estrategia de no emitir nunca una clasificación positiva; el extremo opuesto (1,1), representa la estrategia de emitir incondicionalmente

clasificaciones positivas. El punto superior izquierdo (0,1) representa la clasificación perfecta, que implica una sensibilidad de 100% (ningún falso negativo) y especificidad de 100% (ningún falso positivo), equivalente a un AUC de 100%. Los puntos ubicados sobre la diagonal positiva del espacio ROC (ver Figura 25) implican una capacidad predictiva nula, es decir, una clasificación totalmente aleatoria o de adivinación; por lo que, los puntos ubicados por encima de esta diagonal (mayor AUC) representan los buenos resultados de clasificación (Fawcett, 2006). En el ejemplo de la figura, la curva A ofrece indiscutiblemente, una mayor capacidad discriminatoria diagnóstica que B.

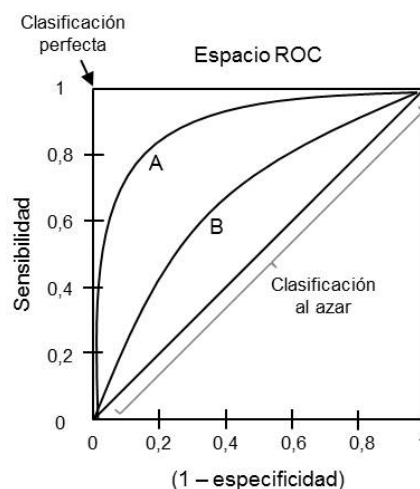


Figura 25. Espacio ROC y ejemplo de curvas ROC

Una guía para la clasificación cualitativa de la precisión de una prueba diagnóstica, con base en el área bajo la curva (AUC), es el sistema de puntuación académico tradicional, que se presenta en la Tabla 30.

Tabla 30. Valoración del área bajo la curva ROC

AUC	Interpretación
0,5 – 0,59	Prueba mala
0,6 – 0,69	Prueba pobre
0,7 – 0,79	Prueba moderada
0,8 – 0,89	Prueba buena
0,9 – 1	Prueba excelente

Fuente: Tape (s.f.)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El capítulo se encuentra estructurado en cuatro apartados principales, en los cuales se describen los principales aspectos metodológicos y epistemológicos de la investigación. En el primer y segundo apartado se definen el nivel y el diseño adoptado en la investigación, respectivamente. El tercer apartado está dirigido a describir de forma detallada las fases seguidas a lo largo de la investigación para el logro de los objetivos planteados, haciendo mención a las técnicas de recolección y procesamiento de los datos. Finalmente, en el cuarto apartado se señalan los principales elementos relacionados a la población y a la muestra del estudio, y en donde se mencionan las empresas en las cuales se llevó a cabo la recolección de la información.

Nivel de la Investigación

De acuerdo a los objetivos planteados en esta investigación, se consideran dos niveles distintos para su desarrollo. En un principio se tendrá un nivel descriptivo, el cual viene dado por la caracterización de las molestias musculoesqueléticas presentes en los trabajadores, así como de los principales factores de riesgo asociados a las mismas. Luego, se tendrá un nivel correlacional, referido a las asociaciones entre los factores de riesgo y la prevalencia de TME. Hernández, Fernández y Baptista (2010) plantean justamente que es común que cualquier investigación incluya varios niveles, y particularmente señalan que las investigaciones descriptivas constituyen la base de los estudios de tipo correlacional.

Diseño de la Investigación

El diseño de investigación, referido al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea, se corresponde al denominado por Hernández et al (2010) como diseño no experimental, dado que no hay manipulación deliberada de variables y sólo se observará el fenómeno en su ambiente natural para su posterior análisis, en otras palabras, se consultarán y observarán a los trabajadores en su propio lugar de trabajo, sin ejercer influencia alguna ni alterar los elementos o condiciones encontradas.

A su vez, la investigación tiene un diseño transversal, de acuerdo a lo definido por los autores ya mencionados, en el sentido de que sólo se recopilarán datos en un único momento, a partir de los cuales se realizarán los respectivos análisis de las variables individuales y de sus relaciones, correspondiéndose con los objetivos planteados en la investigación.

Población y Muestra

La población de la investigación se encuentra representada por los trabajadores del área operativa de empresas pertenecientes al sector cárnico, dedicadas específicamente a la producción de jamones, salchichas, morcillas, chorizos y otros embutidos; las cuales se encuentran ubicadas en la región central del país. De acuerdo a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIIU), las empresas de este tipo se ubican en la Sección D (Industrias manufactureras), División 15 (Elaboración de productos alimenticios y bebidas), Grupo 151 (Producción, procesamiento y conservación de carne, pescado, frutas, legumbres, hortalizas, aceites y grasas) y Clase 1511 (Producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos) (Naciones Unidas, 2002).

El sector manufacturero alimenticio, y en particular la industria de los productos cárnicos reúnen ciertas características que la hace susceptible a la aparición de TME en sus trabajadores:

1. Altos volúmenes de producción. Por tratarse de un producto alimenticio de gran consumo, en especial la familia de salchichas y jamones, las empresas dedicadas a esta actividad económica generalmente mantienen altos volúmenes de producción, lo que impacta directamente en la repetitividad de las tareas.

2. Tareas con alto contenido manual. Aun cuando la empresa cuente con ciertas líneas de proceso automatizadas (especialmente en embutido), es común encontrar un conjunto de tareas manuales o parcialmente manuales, sobretodo en operaciones de desposte, preparación de ingredientes, alimentación y descarga de líneas de embutido, y en tareas de embalaje y empaque; inclusive se presentan casos con procesos artesanales (como en las morcillas) altamente intensivos en mano de obra. Tareas de este tipo generalmente están asociadas a riesgos por repetitividad, manipulación de cargas, posturas deficientes y hasta exigencias psicológicas altas.

3. Manipulación manual de materias primas y productos. En este sector industrial se presenta una elevada manipulación de cargas a lo largo de todo el proceso, desde la recepción de materias primas hasta el almacenaje final de productos. Es común encontrar gran cantidad de dispositivos o medios de manipulación que incluyen paletas, contenedores metálicos y plásticos, carros de diferentes diseños y tamaños, cuyos pesos y métodos de manipulación varían según la etapa del proceso y los requerimientos de producción. En la mayoría de los casos, la manipulación de estos elementos representa riesgos por empujes, arrastres y levantamientos de cargas, además de posturas estresantes.

4. Pesos altos de materias primas y productos. Si bien algunos de los productos fabricados en la industria cárnica son pequeños y presentan un peso muy bajo individualmente (como salchichas, chorizos y morcillas), las unidades de manejo establecidas formal o informalmente a lo largo del proceso, aunado a las imprudencias cometidas por algunos trabajadores al momento de su manipulación, hace que el peso de las cargas se torne en un aspecto importante de ser considerado. Además, otras piezas como los jamones, las chuletas enteras y algunas partes derivadas del desposte, pueden constituir en sí cargas con un peso significativo, cuyos transportes pueden implicar fuerzas altas.

5. Alta concentración en el trabajo. Es común conseguir en este sector industrial una gran variedad de productos, elaborados a partir de mezclas diferentes, y en una amplia gama de presentaciones, lo que incrementa la concentración requerida para llevar a cabo las tareas.

6. Presión de tiempos. Debido a los altos volúmenes de producción mencionados, es posible que se presenten presiones de tiempo hacia los trabajadores, en el cumplimiento de las metas de producción, lo que también pudiera representar un factor de riesgo psicosocial.

En la Tabla 31 se presenta un listado de empresas pertenecientes al sector cárnico, ubicadas en la región central del país, el cual se elaboró a partir de directorios industriales on-line y por información suministrada por personal de las mismas empresas visitadas en el desarrollo de la investigación. No obstante, se desconoce la cantidad de trabajadores existentes en cada una de ellas, además de que en algunas empresas, el personal fluctúa dependiendo de la época del año; por ejemplo, antes de la época decembrina se realizan contrataciones temporales para cubrir la demanda de la temporada.

Es importante diferenciar entre la unidad de análisis y la unidad muestral. La unidad de análisis está constituida por los trabajadores a quienes se les aplicó los instrumentos de medición, mientras que la unidad muestral viene dada por las empresas por medio de las cuales se logra el acceso a los trabajadores.

Tabla 31. Listado de empresas del sector cárnico ubicadas en la región central

Número	Nombre	Localización
1	Embutidos Frío Carnes C.A.	Edo. Aragua
2	La Montserratina C.A.	Edo. Aragua
3	Plumrose Latinoamericana C.A.	Edo. Aragua
4	Plumrose Latinoamericana C.A. Matadero	Edo. Aragua
5	Proagro C.A.	Edo. Carabobo
6	Productos Amadio C.A.	Edo. Carabobo
7	Provepor C.A.	Edo. Aragua
8	Servipork C.A.	Edo. Aragua

De esta manera, para seleccionar el tamaño de muestra de la unidad de análisis, partiendo de una población desconocida, se utilizó la expresión:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 p (1 - p)}{e^2}$$

Donde el valor Z_{α} asociado a un nivel de confianza de 95% es 1,96; la proporción de trabajadores con síntomas de TME p se establece en 0.5 para reflejar la variación posible máxima en la población; y el valor e referido a la máxima diferencia tolerable entre la p de la muestra y la p de la población (nivel de precisión) se establece en ± 0.10 .

Por lo tanto,

$$n = \frac{(1,96)^2(0,50)(0,50)}{(0,10)^2} = 96,04$$

De esta forma, se requieren de por lo menos 97 trabajadores para garantizar los parámetros establecidos.

Por su parte, para la selección de las empresas (unidad muestral) se optó convenientemente, por un muestreo no probabilístico, partiendo del supuesto de que todas las empresas son parecidas, y por lo tanto resulta razonable elegir solo algunas de ellas para obtener los valores que permitan inferir a la población. Los criterios asumidos para la selección de las empresas de la muestra son:

1. Apoyo recibido para llevar a cabo el estudio, tomando en consideración que si bien, no se emplearon métodos invasivos, la amplitud de técnicas de recolección de datos utilizadas, implicaron un periodo de estudio relativamente prolongado.
2. Localización en una zona geográfica relativamente pequeña, con el propósito de facilitar y economizar la administración del trabajo de campo.
3. Inclusión de diversidad de procesos, para garantizar que mayor variedad de procesos, dentro de la industria cárnica, se encuentren representados en la muestra.

De esta manera, fueron consideradas tres de las empresas listadas anteriormente (ver Tabla 32), ubicadas en la zona norte del estado Aragua, en las cuales se obtuvo el apoyo necesario para la realización del estudio, permitiéndose el acceso a sus trabajadores, puestos de trabajo y registros relacionados con el tema de los TME; y en las que se encontraron procesos diversos desde el punto de vista tecnológico y productivo.

En cada una de las empresas se tomó una muestra aleatoria de trabajadores, representativa de los diferentes puestos de trabajo característicos del sector; definida a conveniencia del investigador y de los supervisores de seguridad y producción de las respectivas empresas.

Tabla 32. Empresas consideradas en la investigación

Nombre	Nº de trabajadores evaluados
La Montserratina C.A.	69
Plumrose Latinoamericana C.A.	63
Plumrose Latinoamericana C.A. Matadero	42
Total	174

Con una muestra de 174 trabajadores y los supuestos ya mencionados, el error del estudio se estima en:

$$e = (1,96) \sqrt{\frac{(0,50)(0,50)}{174}} = 0,074 \approx 7,4\%$$

Método de Investigación

El método de investigación constituye el direccionamiento sistemático que se tomará para la obtención de la información, y su posterior análisis e interpretación; en otras palabras, es el camino a seguir considerando la complejidad de los problemas a estudiar. Lo anterior hace suponer que el método de investigación se concibe no sólo por las técnicas empleadas, sino que conlleva implicaciones epistemológicas al considerar la estructuración, la orientación y la interrelación de estas técnicas y del proceso en general, así como sus repercusiones, lo que llevará al cumplimiento de los objetivos de investigación. De esta forma, el método adoptado en la investigación viene dado por las fases que se describen a continuación.

Fase 1. Determinación de la prevalencia de TME de origen laboral

En esta primera fase se pretende caracterizar el tipo de molestias musculoesqueléticas presentadas, indagando sobre su localización más común (región corporal) y su intensidad, de acuerdo a la percepción del propio trabajador. La técnica utilizada en la recolección de los datos fue la encuesta, a través del empleo de dos instrumentos: el cuestionario nórdico estandarizado (Kuorinka et al, 1987) para identificar la localización, duración e impacto de las molestias, y la técnica *body part discomfort scale* o escala de malestar del cuerpo (Corlett y Bishop, 1976) para la detección de la localización y la intensidad de la molestia. Para estimar la confiabilidad de ambos instrumentos se utilizaron el coeficiente Kuder-Richardson y el coeficiente Alfa de Cronbach, respectivamente.

Las actividades llevadas a cabo durante esta fase son:

1. Preparación del instrumento de detección de molestias. Incluye la elaboración de los formatos correspondiente a cada cuestionario a suministrar a los trabajadores, la inclusión

de instrucciones para su correcto llenado y el objetivo de su aplicación. Cabe destacar que las partes del cuerpo consideradas para el estudio fueron reagrupadas en seis: cuello, hombros, espalda, codos/antebrazos, manos/muñecas y piernas/pies.

2. Aplicación de la encuesta a los trabajadores considerados en el estudio. Inicialmente, fueron presentados los objetivos de la encuesta y de la investigación, tanto a los trabajadores involucrados como a los supervisores del área y a los delegados de prevención, con los cuales se estableció la planificación del trabajo de campo. Luego, se realizó propiamente la encuesta en el lugar de trabajo de cada individuo, bajo la modalidad auto-administrada y conservando el anonimato de cada trabajador; sólo en aquellos casos que el encuestado lo solicitara, se realizó tipo entrevistador, haciendo las preguntas y registrando las respuestas en el formulario respectivo. Esta encuesta se aplicó a la muestra de 174 trabajadores del área operativa de las tres empresas consideradas para el estudio, sobre una población aproximada de 1600 trabajadores en dichas empresas.

3. Registro y procesamiento de los datos recopilados. Una vez completadas las encuestas se procedió a registrar la información obtenida en una hoja de cálculo para su uso. El procesamiento respectivo se llevó a cabo a través de herramientas de estadística descriptiva, especialmente de diagramas de barras.

4. Determinación de la prevalencia de síntomas musculoesqueléticos. La prevalencia corresponde a la proporción de trabajadores que manifestaron algún tipo de molestia a nivel del sistema musculoesquelético, se presentó a nivel general y también por cada región del cuerpo. Esta prevalencia se deriva directamente del procesamiento de los datos.

5. Construcción de matriz trabajador – prevalencia. Como síntesis de esta fase, se construyó una matriz que vincula a cada trabajador (identificado simbólicamente para resguardar el anonimato) con la existencia o no de TME en cada parte del cuerpo.

Fase 2. Identificación y evaluación de los factores de riesgo de TME

El propósito de esta etapa fue cuantificar las potenciales variables que pudieran relacionarse con la existencia de TME, las cuales se han enfocado desde el punto de vista biomecánico, psicosocial y personal. Las técnicas de recolección de datos utilizadas en esta fase de la investigación son: la encuesta y la observación directa; ésta última a través de diversos

recursos tales como listas de chequeo, fotografías y grabaciones audiovisuales. A partir del empleo de estas técnicas fue posible obtener la información necesaria para la aplicación de métodos existentes utilizados tradicionalmente en evaluaciones ergonómicas y que permitieron cuantificar las variables del estudio. Estos métodos son: *RULA* para la sobrecarga postural, *check list OCRA* para la repetitividad de movimientos, la ecuación de *NIOSH* para levantamiento de cargas, *ERGO/IBV* para empuje y arrastre de cargas y el *ISTAS21* para los factores psicosociales.

Además, se utilizó un cuestionario para recopilar información general del trabajador relacionada a aspectos sociodemográficos, antropométricos y laborales. En algunos casos fue empleada también la técnica de observación indirecta, a través de la revisión de informes de evaluación ergonómica realizados previamente en algunas áreas de las empresas. Todo el proceso de cuantificación de variables referido en esta fase de la investigación fue realizado durante un periodo de 10 meses (entre agosto de 2014 y mayo de 2015) directamente en el lugar de trabajo del informante. Entre las técnicas de procesamiento de los datos fueron utilizadas: hojas de cálculo y programas informáticos que facilitaron la aplicación de los métodos ergonómicos (*ERGO/IBV* y softwares on-line).

Las actividades realizadas para el cumplimiento de esta fase son:

1. Comprensión y descripción de las tareas realizadas. Conlleva la identificación de las diferentes operaciones que forma parte de los procesos observados, realizadas por los trabajadores encuestados, así como el contexto en que se realizan, las subtarefas que las conforman y los medios utilizados; para ello, se recorrieron cada una de las áreas de trabajo involucradas y se empleó la observación directa.
2. Identificación de los factores de riesgo potenciales en cada tarea. Siguiendo el mismo esquema de trabajo anterior (observación directa) fueron detectados los factores de riesgos asociados a TME, existentes en cada tarea, empleándose como referencia los factores de riesgo mencionados por la literatura consultada, derivados de la revisión de antecedentes previa. Así mismo, cabe recalcar que los factores de riesgo fueron clasificados en biomecánicos, psicosociales y personales.
3. Preparación de formularios relacionados con los métodos de evaluación seleccionados. Comprende la familiarización con cada método de evaluación ergonómica escogido para

valorar los distintos factores de riesgo (biomecánicos, psicosociales e individuales), la identificación de softwares disponibles para facilitar su aplicación, la identificación de instrumentos y equipos requeridos para el registro de datos particulares (cronómetro, dinamómetro, cinta métrica) y la elaboración de planillas o formularios destinados a facilitar el registro de información en campo.

4. Medición y registro de los datos requeridos por cada método de evaluación. Se refiere al trabajo de campo propiamente, a partir del cual se obtuvo toda la información necesaria para aplicar cada uno de los métodos, y que depende de los factores de riesgo previamente identificados; en otras palabras, si en una tarea no existen actividades de levantamiento de cargas por ejemplo, se omite toda la información relativa al método *NIOSH*. Para el desarrollo de este paso se contó con el apoyo de los trabajadores involucrados y supervisores de las áreas respectivas.

5. Aplicación de los métodos de evaluación. Esta actividad representa en sí el procesamiento de la información recabada, a partir de la cual fue posible obtener un valor del nivel de riesgo (categórico) para cada uno de los factores existentes (sobrecarga postural, repetitividad, levantamiento de cargas, empuje de cargas, factores psicosociales) en las distintas tareas. En casos como el de la sobrecarga postural, en el que es posible conseguir diferentes niveles de riesgo para la misma tarea, debido a las distintas posturas que puede adoptar la persona durante su desarrollo, se consideró el mayor nivel de riesgo encontrado (postura más adversa). Esta misma consideración se asumió para otros factores de riesgo.

En el caso de los factores individuales, específicamente las variables ordinales como la edad, la antigüedad y el peso, se realizaron análisis de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

6. Construcción de matriz trabajador – factor de riesgo. Los resultados obtenidos en esta fase fueron sintetizados en una matriz conformada por 174 filas, que representan los trabajadores considerados en el estudio, y 20 columnas, representativas de los distintos factores de riesgo considerados (4 físicos, 6 psicosociales y 10 personales). En cada casilla se indica el nivel de riesgo más alto obtenido, según la tarea que el trabajador realiza.

Fase 3. Selección de los factores de riesgo relevantes en la predicción de TME

La finalidad de esta fase fue determinar cuáles de las variables analizadas presentaron una mayor influencia sobre el fenómeno objeto de estudio; buscando eliminar variables redundantes e irrelevantes y de esta forma simplificar el modelo. La selección de factores relevantes se realizó mediante técnicas de minería de datos, empleando específicamente el programa Weka 3.6. Para ello se siguieron los siguientes pasos:

1. Depuración de los datos. Se refiere a la revisión de los datos recogidos y compilados en las dos primeras fases, con la intención de detectar valores atípicos y ausentes. En este sentido se emplearon técnicas de análisis exploratorio de datos y técnicas de imputación, de manera de asegurarse de que cualquier valor atípico sea completamente explicable y de que no persista ningún valor perdido en la data, antes de proseguir con la investigación.
2. Preparación de los datos. Comprende la integración y transformación de determinadas variables, con el propósito de constituir un conjunto de datos más apropiado para la minería de datos. La integración está referida a la combinación de variables, como por ejemplo integrar la estatura y el peso en una nueva variable denominada índice de masa corporal, la cual es más determinante en las intenciones del estudio. La transformación está referida fundamentalmente a la categorización de datos numéricos, tales como la edad y la antigüedad, mediante técnicas de discretización, específicamente se empleó el método óptimo de la raíz cuadrada de la frecuencia acumulada (Scheaffer, Mendenhall y Ott, 2007).
3. Aplicación de métodos de selección de factores relevantes. Su propósito fue el de simplificar la cantidad de factores de riesgo evaluados, identificando aquellos que tuvieron una mayor relevancia sobre la presencia de molestias musculoesqueléticas; el análisis se realizó para cada una de las seis partes del cuerpo consideradas en la primera fase, partiendo de la suposición de que los factores que afectan a cada región pudieran variar. Se emplearon dos métodos de selección (uno basado en correlación y otro en consistencia) y nueve estrategias de búsqueda, disponibles en Weka, lo que dio lugar a 18 combinaciones diferentes; de esta forma, para cada zona corporal se obtuvieron distintos subconjuntos de atributos o factores relevantes.
4. Determinación del subconjunto de factores que generen la mayor precisión de predicción. A partir de esta actividad fue posible comparar los distintos subconjuntos

generados en el paso anterior, y seleccionar aquel que permitiera obtener una mayor precisión de predicción (Ruíz, Aguilar y Riquelme, s.f.); para lo cual se emplearon distintos métodos de clasificación disponibles en Weka. Al final se obtuvo un subconjunto de factores relevantes para cada región del cuerpo afectada.

Fase 4. Construcción de modelo de predicción de TME

La fase conclusiva de la investigación consistió en estructurar, mediante el reconocimiento de patrones, un modelo capaz de predecir la ocurrencia de la enfermedad a partir de los factores relevantes detectados en la fase anterior. La predicción de TME fue tratado como un problema de clasificación, cuya salida esperada es la existencia o no de riesgo de TME en las distintas regiones corporales analizadas. Se consideraron métodos de clasificación de diferente índole, acordes al tipo de datos recopilados y al objetivo del estudio, incluyéndose: métodos bayesianos, regresión logística, redes neuronales, reglas de decisión y árboles de decisión, todos ellos disponibles en el software Weka. Las actividades que conformaron esta fase de investigación se describen a continuación:

1. Selección de las técnicas de modelado acordes al caso de estudio. Dentro de cada tipo de métodos de clasificación se presentan diferentes modalidades y derivaciones, por lo que fue necesario identificar aquellos que se ajusten a los requerimientos de la investigación y al tipo de variables consideradas. En definitiva fueron evaluados 5 métodos bayesianos, 2 basados en regresión logística, 2 basados en redes neuronales, 9 basados en reglas de decisión y 11 basados en árboles de decisión.
2. Definición de los parámetros requeridos por los modelos considerados. Algunos métodos de clasificación ameritan de la definición de ciertos parámetros, generalmente asociados a los criterios de parada del algoritmo, los cuales son particulares de cada método.
3. Desarrollo del modelo de clasificación. Consiste en la corrida del algoritmo que permite generar el modelo predictivo, con base en los datos recopilados. En esta etapa debe definirse el porcentaje de datos que se utilizarán en la construcción del modelo, lo cual depende de la prueba de validación utilizada. Como ya se ha planteado previamente, se desarrolló un modelo para cada región del cuerpo analizada, dado que el subconjunto de factores relevantes es particular de cada uno.

4. Validación del modelo construido. Incluye la definición de la prueba de validación y la determinación de distintas medidas de evaluación del modelo desarrollado. Dentro de las pruebas de validación fueron consideradas dos: la validación cruzada utilizando 10 particiones y el método de porcentaje dividido destinando 2/3 de los datos para el entrenamiento del modelo y 1/3 para su validación. Entre las principales medidas de evaluación empleadas destacan: la precisión, los verdaderos y falsos positivos y negativos, el coeficiente *kappa* y el análisis *ROC*.

En la Figura 26 se resume el esquema metodológico descrito anteriormente, señalando cada una de las fases de la investigación y las principales técnicas utilizadas.

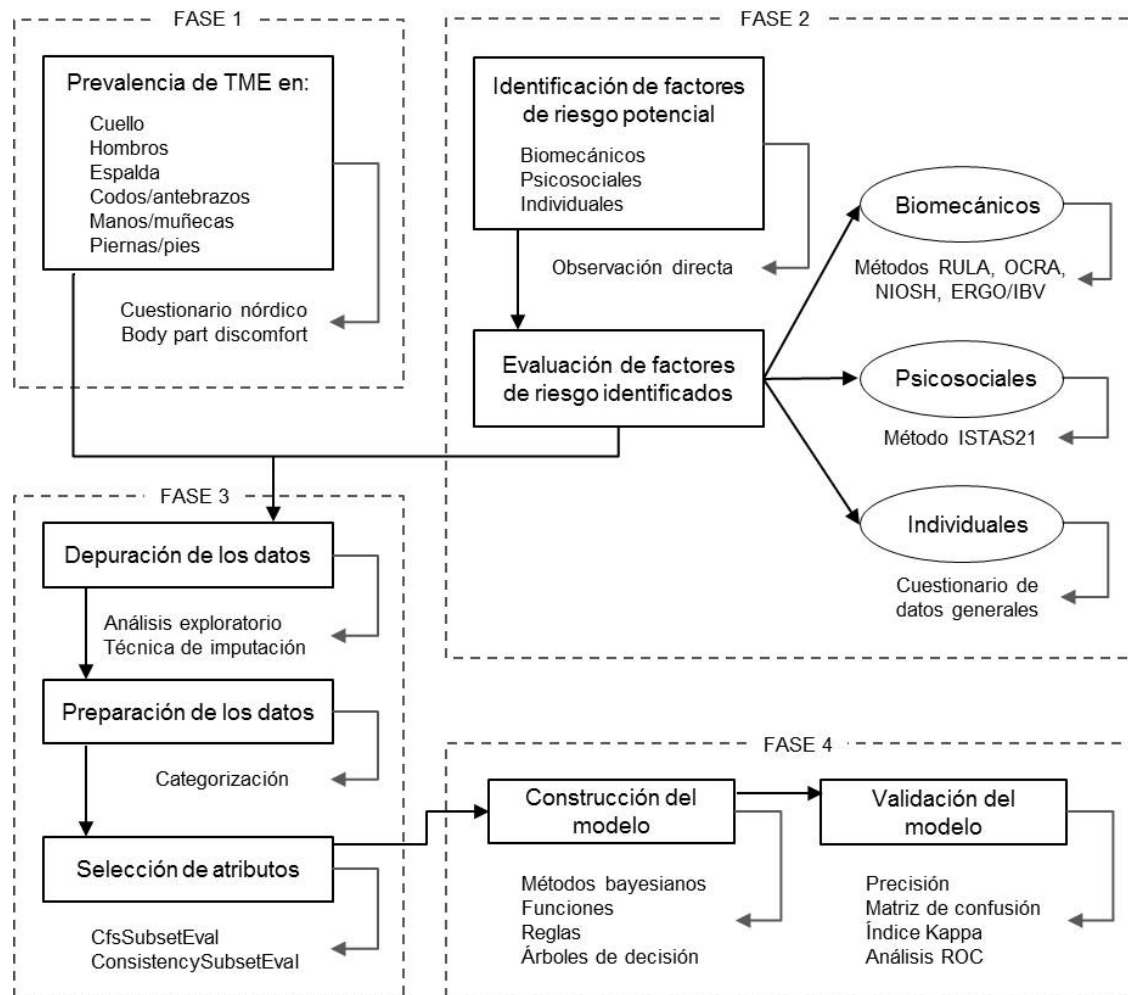


Figura 26. Esquema metodológico

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo se estructura en cuatro apartados principales que guían el cumplimiento de los objetivos de la investigación. En el primer apartado se describen los resultados concernientes a la proporción de trabajadores que reflejaron molestias musculoesqueléticas. El segundo apartado presenta las características generales de los trabajadores, vinculadas a aspectos sociodemográficos, antropométricos y laborales, las cuales constituyen las variables individuales o personales. En el tercer apartado se reflejan los hallazgos obtenidos de las evaluaciones de los factores de riesgo biomecánicos y psicosociales de la muestra estudiada. Finalmente, el cuarto apartado corresponde a la fase de selección de atributos relevantes previo al modelado, con la cual se completa el pre-procesamiento de los datos.

Prevalencia de Molestias Musculoesqueléticas

La prevalencia de TME viene dada por el cruce de información obtenida a través del cuestionario nórdico estandarizado y la escala de malestar corporal, la cual indica la proporción de trabajadores que han manifestado síntomas asociados a TME, su ubicación corporal y la intensidad percibida de las molestias asociadas. Estas constituyen las variables dependientes (output) del modelo propuesto.

Aun cuando ambos instrumentos han sido ampliamente utilizados y validados en diferentes contextos, se determinó su confiabilidad mediante el análisis de la consistencia interna. En el caso de la escala de malestar corporal, por tratarse de un escalamiento, se calculó el coeficiente Alfa de Cronbach para la escala total, obteniéndose un valor de 0,825 que indica una confiabilidad muy alta. Con respecto al cuestionario nórdico estandarizado, se determinó el coeficiente Kuder-Richardson (KR-20) para la parte del instrumento conformada por preguntas cerradas dicotómicas, encontrándose un valor de 0,728, indicativo de una confiabilidad alta (Hernández et al, 2010).

Cabe señalar que no se encontraron observaciones atípicas sin explicación, más allá de los valores extremos propios de las categorías de respuestas contempladas.

Las partes del cuerpo en las que los trabajadores pueden presentar las molestias musculoesqueléticas fueron agrupadas en seis categorías: cuello, hombros, espalda, codos/antebrazos, manos/muñecas y piernas/pies. En cuanto a la intensidad, se tienen cinco opciones de molestias: sin molestia, molestia leve, molestia moderada, molestia severa y molestia muy intensa.

En general, se encontró una prevalencia de molestias musculoesqueléticas de 77,01% (134 trabajadores), por lo que sólo 40 personas manifestaron no haber sentido molestias de tal tipo en alguna de sus partes del cuerpo (personas saludables desde el punto de vista osteomuscular).

Algunos autores que han utilizado el cuestionario nórdico estandarizado para determinar la prevalencia de TME en trabajadores de diferentes sectores laborales, tales como el personal universitario, personal administrativo, terapeutas, trabajadores de la industria del salmón, trabajadores de la industria textil y enfermeras, han encontrado problemas musculoesqueléticos entre el 47,6% y 84,4% de las personas encuestadas (Aizat et al, 2009; Almagro et al, 2009; Alrowayeh et al, 2010; Öztürk y Esin, 2011; Tinubu et al, 2010; Vernaza y Sierra, 2005), por lo que el porcentaje de prevalencia aquí encontrado se encuentra entre los más altos.

Con relación a las zonas del cuerpo más comunes en las que los trabajadores sienten sus molestias, se puede apreciar en la Tabla 33 que los hombros representan la parte más crítica con un 49,4% (86 trabajadores), seguido de la espalda con 47,1% (82 trabajadores), las

manos y muñecas con 31,6% (55 trabajadores) y el cuello con 29,3% (51 trabajadores). Estos hallazgos coinciden con las referencias consultadas, en las que la espalda, el cuello y los hombros, figuran entre las partes corporales más comúnmente afectadas.

Tabla 33. Prevalencia de TME según la región del cuerpo

Parte del cuerpo	N° de trabajadores	Porcentaje
Hombros	86	49,4
Espalda	82	47,1
Manos/muñecas	55	31,6
Cuello	51	29,3
Piernas/pies	39	22,4
Codos/antebrazos	23	13,2

En la Figura 27 se aprecia gráficamente la relación entre trabajadores saludables (sin molestias) y los trabajadores que reportaron algún tipo de molestia relacionada a TME.

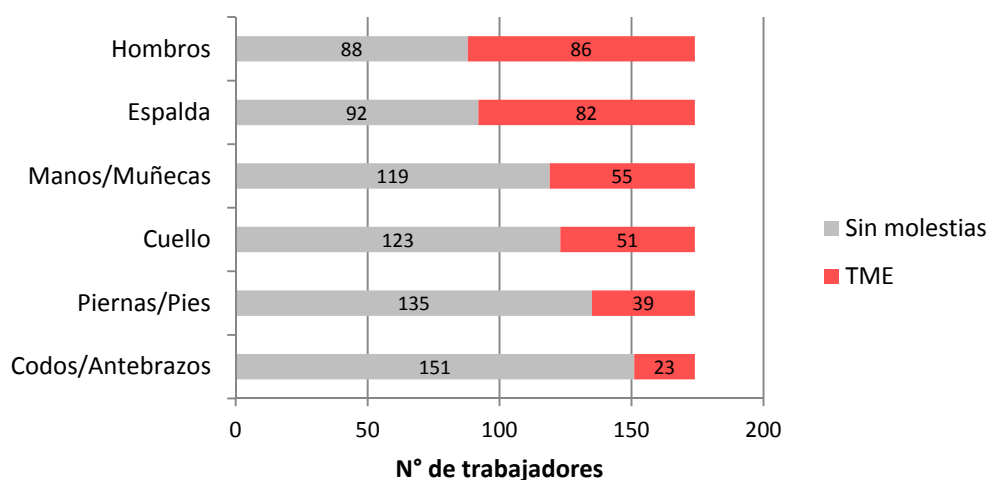


Figura 27. Relación de trabajadores saludables y con TME según región del cuerpo

Al desglosar aún más la prevalencia de TME en cuanto a la intensidad del dolor percibido por los trabajadores, se tiene que en general hay una mayor prevalencia de molestias leves y moderadas que de molestias severas y muy intensas (ver Figura 28). En término relativos, las molestias muy intensas se presentaron en mayor proporción en los codos/antebrazos y espalda, mientras que las molestias severas tuvieron su mayor proporción relativa en el cuello.

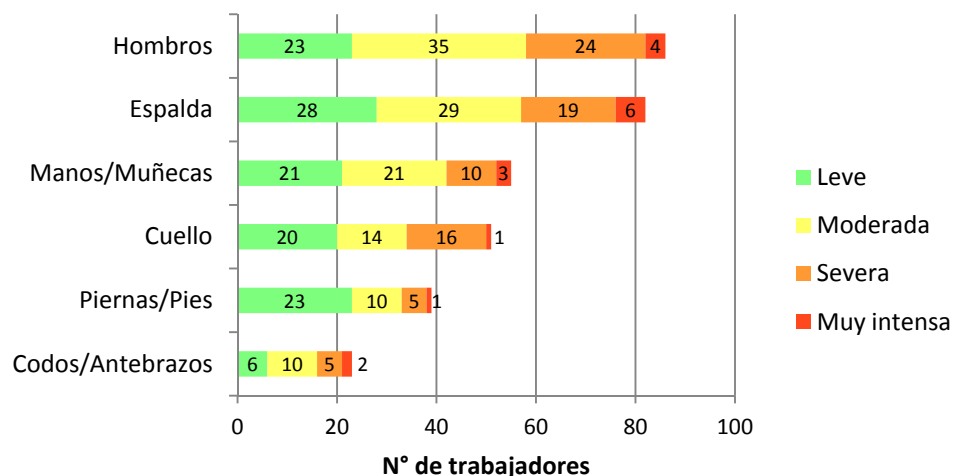


Figura 28. Intensidad de las molestias percibidas por los trabajadores

A cada nivel de intensidad se le asoció un valor cuantitativo (leve: 1, moderada: 2, severa: 3 y muy intensa: 4), con lo cual se puede calcular una media ponderada de la intensidad para cada parte del cuerpo afectada, teniéndose los valores mostrados en la Tabla 34, donde destacan los codos/antebrazos (2,130), los hombros (2,105) y la espalda (2,037), correspondientes a niveles entre moderado y severo.

Tabla 34. Intensidad de molestia ponderada según la zona del cuerpo

Parte del cuerpo	Intensidad de molestia ponderada
Codos/antebrazos	2,130
Hombros	2,105
Espalda	2,037
Cuello	1,961
Manos/muñecas	1,909
Piernas/pies	1,590

No obstante, el dolor es una sensación subjetiva, única en cada persona e inclusive puede variar en la misma persona ante situaciones diferentes; el grado de dolor que un individuo percibe es influenciado por factores como: las experiencias doloras previas, la personalidad y aspectos socio-culturales (Rull y Castel, 2006). Por tal razón, debido a la dificultad que implica la discriminación entre distintos niveles de dolor, el modelo planteado en esta investigación, se enfocará en la predicción de molestias musculoesqueléticas en general sin diferenciar la intensidad de la molestia; es decir, clasificará los trabajadores de acuerdo a la

existencia o no de molestias asociadas a TME, con lo cual se reducen los errores asociados a un mayor número de categorías de salida.

Perfil de la Muestra

En el presente apartado se describen las características sociodemográficas, antropométricas y laborales de los trabajadores encuestados, las cuales definen el perfil de la muestra. Estas características constituyen parte de las variables independientes del estudio, específicamente las relacionadas a atributos individuales o personales.

Dentro de las variables sociodemográficas se encuentran: la edad, el género, hábitos de tabaquismo, hábitos de realización de actividades físicas y los antecedentes médicos relacionados a TME. Las variables antropométricas las constituyen la estatura y el peso. Entre tanto, las variables de tipo laborales vienen dadas por la antigüedad en la empresa, la antigüedad en el cargo actual, la realización de sobretiempo y la rotación entre puestos de trabajo.

Una vez recolectada la información respectiva y como parte del pre-procesamiento de los datos, se procedió a su depuración mediante un análisis de detección de valores atípicos y ausentes. Al respecto, las variables continuas de edad, antigüedad en el cargo y antigüedad en la empresa presentaron casos atípicos, aunque claramente atribuibles a trabajadores con una larga trayectoria dentro de la empresa, en su cargo y por consiguiente de edad avanzada, por lo que se decidió retenerlos en la muestra, ya que podrían contribuir en un mayor nivel de discriminación de la variable; por su parte, las variables de estatura y peso, no presentaron valores atípicos. Las variables no presentaron datos ausentes.

Así mismo, a través de la aplicación de la prueba de Kolmogorov – Smirnov, no se encontraron evidencias para rechazar la hipótesis de normalidad en las variables: edad, estatura y peso. No obstante, en el caso de la variable antigüedad en el cargo se rechaza la hipótesis de normalidad, evidenciándose asimetría en los valores de la variable, que corresponde a una masa trabajadora predominantemente joven desde el punto de vista laboral.

De esta forma, la muestra está constituida por 81% de hombres (141) y sólo 19% de mujeres (33), cuyas edades oscilan entre 19 y 62 años, con una media de 34,9 y desviación

estándar de 8,454. La muestra reflejó que el 93,7% (163) de los trabajadores no fuman; el 46,6% (81) realiza algún tipo de entrenamiento físico o deportivo por lo menos durante 20 minutos una vez por semana y el 40,2% (70) realiza labores domésticas que implican esfuerzo físico, al menos una vez en la semana. En la Figura 29 se puede observar la distribución de frecuencia de entrenamiento físico y de labores domésticas realizadas por los trabajadores.

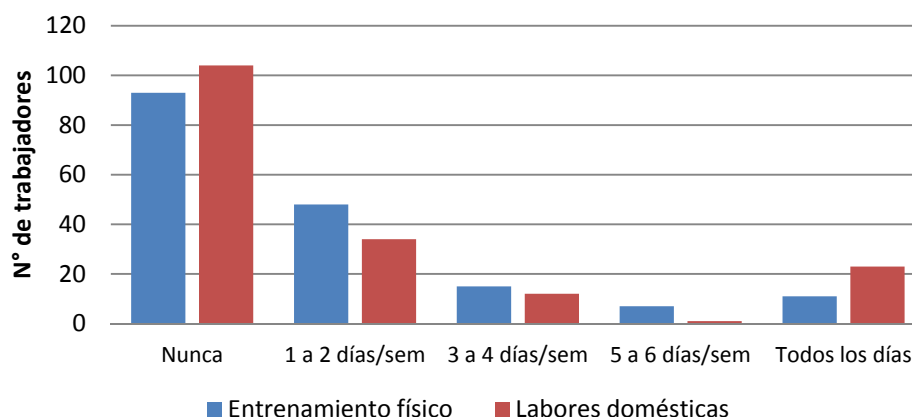


Figura 29. Frecuencia de entrenamiento físico y labores domésticas

En el caso de la variable edad, se llevó a cabo su categorización mediante el método óptimo de la raíz cuadrada de la frecuencia acumulada (Scheaffer, Mendenhall y Ott, 2007), con el propósito de simplificar su interpretación. Se generaron cinco categorías o grupos etarios, tal como se presenta en la Tabla 35.

Tabla 35. Distribución de trabajadores por estrato etario

Grupo etario	N° de trabajadores	Porcentaje
19 – 26 años	31	17,8
27 – 32 años	40	23,0
33 – 37 años	37	21,3
38 – 44 años	41	23,6
45 – 62 años	25	14,4

Con relación a las variables antropométricas, se encontró que la estatura media es de 1,70 m con una desviación estándar de 0,088, mientras que el peso medio es de 80,5 Kg con una desviación de 14,968. Estas dos variables permiten calcular el índice de masa corporal (IMC), definido como el peso en kilogramos dividido por el cuadrado de la estatura en

metros (Kg/m²) (Organización Mundial de la Salud, 2006), dando lugar a la consolidación de una nueva variable, en sustitución de las dos primeras. En la Tabla 36 se señala la distribución de la variable, categorizada de acuerdo a la clasificación internacional sobre bajo peso, sobrepeso y obesidad en adultos (Organización Mundial de la Salud, 2006). El IMC alcanzó una media de 27,84 Kg/m² con una desviación de 4,168, lo cual refleja una propensión al sobrepeso.

Tabla 36. Distribución de trabajadores por IMC

Clasificación		Puntos de corte principal (Kg/m ²)	Nº de trabajadores	Porcentaje
Bajo peso	Delgadez severa	< 16,00	0	0
	Delgadez moderada	16,00 – 16,99	0	0
	Delgadez leve	17,00 – 18,49	1	0,6
Normal		18,50 – 24,99	49	28,2
Sobrepeso	Preobeso	25,00 – 29,99	74	42,5
Obesidad	Obesidad leve	30,00 – 34,99	38	21,8
	Obesidad media	35,00 – 39,99	12	6,9
	Obesidad mórbida	≥ 40	0	0

Las variables laborales reflejaron que el 47,1% (82) de las personas encuestadas trabajan sobretiempo y el 58,0% (101) rota entre puestos de su misma área laboral, por lo que el 42,0% permanece fijo en un solo puesto de trabajo. Por otro lado, la antigüedad promedio de los trabajadores en la empresa es de 7,1 años (desviación estándar de 6,055) y en el cargo o trabajo actual de 5,6 años (desviación estándar de 5,525).

Ambas variables relacionadas a la antigüedad presentaron una correlación entre ellas de 0,839 (significativa al nivel 0,01), lo cual indica que se trata de atributos redundantes que no aportan valor significativo a los resultados esperados del modelo, por lo que se decidió conservar sólo la variable de antigüedad en el cargo y prescindir de la variable antigüedad en la empresa. La razón de la escogencia se debe a que la caracterización de factores de riesgo que se presentaran más adelante responde al cargo actual desempeñado por el trabajador. Al categorizar en cinco estratos la variable antigüedad en el cargo o puesto actual, por el método óptimo de la raíz cuadrada de la frecuencia acumulada (Scheaffer, Mendenhall y Ott, 2007), se obtiene los resultados que se señalan en la Tabla 37.

Tabla 37. Distribución de trabajadores según la antigüedad en el cargo

Estrato de antigüedad	N° de trabajadores	Porcentaje
0 – 1 año	37	21,2
2 – 4 años	55	31,6
5 – 7 años	40	23,0
8 – 14 años	25	14,4
15 – 27 años	17	9,8

Identificación y Evaluación de los Factores de Riesgo Relacionados a TME

Antes de proceder a evaluar los factores de riesgo asociados a TME, fue necesario reconocer los diferentes puestos de trabajo e identificar en cada uno de ellos la existencia a priori de riesgos relacionados a: sobrecarga postural, repetitividad de movimientos, levantamiento de cargas pesadas y empuje o arrastre de cargas pesadas, ya que es posible que en algunos puestos no se presenten todos los factores de riesgo físico mencionados.

En el caso de los factores de riesgo psicosocial, resulta muy difícil identificar su posible existencia, mediante simple observación directa, por lo que se decidió realizar su evaluación en todos los puestos de trabajo, a todos los trabajadores.

Identificación de factores de riesgo biomecánico

A continuación se describen brevemente las principales tareas observadas durante la recolección de los datos, las cuales son características de los procesos cárnicos; además se señalan los factores de riesgo físico detectados por observación directa de la tarea.

1. Matanza de cerdos. Constituye la etapa inicial en la elaboración de productos cárnicos y su finalidad es el sacrificio del animal con el objeto de aprovechar su carne; el cerdo es guiado hasta una cámara de CO₂ para adormecerlo y luego ejecutar su degüelle. En la Tabla 38 se pueden observar los factores de riesgo identificados en la realización de esta tarea.

Tabla 38. Factores de riesgo biomecánico identificados en matanza

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Sobrecarga postural	Repetitividad de movimiento	Levantamiento de cargas	Empuje/arrastre de cargas
Operación de cámara CO ₂				
Amarre de patas traseras	✓			
Degüelle	✓			
Colocación de roldana	✓	✓		

2. Eviscerado. Consiste en la extracción de las diferentes vísceras del cerdo, lo cual se va realizando paulatinamente a lo largo de una línea en la que los cerdos cuelgan de sus patas traseras. Entre las subtareas que componen esta parte del proceso se encuentran: abertura abdominal, extracción de recto, extracción de vísceras rojas y blancas, corte de canal, corte de papada y separación de baña torácica. Los factores de riesgo físico identificados aquí se presentan en la Tabla 39.

Tabla 39. Factores de riesgo biomecánico identificados en eviscerado

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Sobrecarga postural	Repetitividad de movimiento	Levantamiento de cargas	Empuje/arrastre de cargas
Abertura abdominal	✓	✓		
Extracción de recto	✓	✓		
Extracción de vísceras blancas	✓	✓		
Extracción de vísceras rojas	✓	✓		
Corte de canal	✓	✓		
Corte de papada	✓	✓		
Extracción de baña torácica	✓	✓		

3. Desposte. Consiste en el despiece o separación de cada una de las partes del cerdo, para su posterior clasificación y almacenaje. Las actividades que conforman esta fase se van realizando de forma gradual en la medida que el animal avanza sobre un sistema de banda transportadora. Dentro de las subtareas que se visualizaron en esta etapa del proceso, resaltan: el corte de la cabeza y patas, el embalaje de patas, el descuerado de la chuleta, la separación de la costilla y tocineta, el cuadro de la tocineta, entre otras; en las cuales fueron identificados los factores de riesgo que se indican en la Tabla 40.

Tabla 40. Factores de riesgo biomecánico identificados en desposte

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Sobrecarga postural	Repetitividad de movimiento	Levantamiento de cargas	Empuje/arrastre de cargas
Transporte de cerdos		✓		✓
Corte cabeza y patas delanteras	✓	✓		
Levantar lomito	✓	✓		
Corte de patas traseras	✓	✓		
Embalaje de patas	✓	✓	✓	
Descuerado de chuleta	✓	✓		
Separación de costilla y tocineta	✓	✓		
Cuadre de tocineta	✓	✓		

4. Selección de piezas. En esta tarea se realiza la clasificación y separación de piezas de acuerdo a su tamaño y peso, para su posterior utilización bien sea como materia prima para la producción de embutidos o como piezas enteras. Algunas de las subtareas observadas así como los factores de riesgo identificados durante su ejecución se muestran en la Tabla 41.

Tabla 41. Factores de riesgo biomecánico identificados en selección de piezas

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Sobrecarga postural	Repetitividad de movimiento	Levantamiento de cargas	Empuje/arrastre de cargas
Selección de chuletas	✓	✓	✓	
Selección de tocinetas	✓	✓	✓	
Embalaje de tocino	✓		✓	✓
Pesaje de pernil	✓	✓		
Transporte de contenedor	✓		✓	✓

5. Preparación de condimentos. Se refiere al pesaje de los distintos condimentos que componen cada tipo de producto a fabricar y el armado de batch o paquetes con las medidas correctas para su posterior uso en la etapa de mezclado. Básicamente las subtareas que la integran son el pesaje de los condimentos y el transporte de paletas o bultos de ingredientes almacenados. En la Tabla 42 puede observarse los factores de riesgo detectados.

Tabla 42. Factores de riesgo biomecánico identificados en preparación de condimentos

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Sobrecarga postural	Repetitividad de movimiento	Levantamiento de cargas	Empuje/arrastre de cargas
Pesaje de condimentos	✓	✓		
Transporte de bultos	✓		✓	

6. Preparación de mezcla. Se refiere a la combinación, en las medidas precisas, de los diferentes ingredientes que forman cada producto a elaborar, incluyendo tanto los cortes de carnes como de los condimentos respectivos. Las diferencias que se pudieran presentar entre una empresa y otra, vienen dadas por los medios disponibles para llevar a cabo la

tarea y el grado de automatización. En general, las subtareas más frecuentes relacionadas a la preparación de mezcla así como los riesgos identificados se muestran en la Tabla 43.

7. Operación de la línea de embutido. Consiste en la realización del embutido del producto propiamente dicho, a partir de la mezcla correspondiente. Esta operación puede variar en función de la tecnología y del mismo producto. En el caso del embutido de morcillas, por tratarse de un proceso más artesanal y el uso de tripa natural, se compone de las subtareas: limpieza de tripa, embutido, amarre de morcillas, empaquetado o agrupamiento y, entubado o acomodo de paquetes de morcillas sobre parales metálicos.

Tabla 43. Factores de riesgo biomecánico identificados en mezcla

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Sobrecarga postural	Repetitividad de movimiento	Levantamiento de cargas	Empuje/arrastre de cargas
Provisión de ingredientes	✓		✓	✓
Pesado	✓			✓
Molido				
Mezclado	✓		✓	
Preparación de salmuera	✓		✓	
Pelado de cebollas	✓	✓	✓	

Por su parte en procesos más automatizados de embutido de salchichas, chorizos o similares, las subtareas comunes incluyen: activación u operación de la embutidora, carga de tripas y mezcla, descolgado de parales con el producto y, el armado o carga del carro transportador. Esta última puede ser sustituida por la carga del horno directamente, cuando se trata de hornos automáticos. Adicionalmente, cuando se trata del embutido de piezas de mayor tamaño como jamones o salchichones, se pueden presentar otras subtareas como el enclipado del producto y la ubicación de piezas en moldes. Los riesgos biomecánicos identificados en cada subtarea se presentan en la Tabla 44.

Tabla 44. Factores de riesgo biomecánico identificados en embutido

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Sobrecarga postural	Repetitividad de movimiento	Levantamiento de cargas	Empuje/arrastre de cargas
Limpieza de tripa	✓	✓		✓
Embutido manual	✓	✓		

Amarre de morcillas	✓	✓		
Empaquetado	✓	✓		
Entubado	✓	✓	✓	
Embutido automático	✓	✓		
Descolgado de parales	✓	✓	✓	
Carga de carro transportador	✓	✓	✓	✓
Carga de horno	✓	✓	✓	
Enclipado de producto	✓	✓		
Ubicación en moldes	✓	✓	✓	✓

8. Cocción. Involucra las actividades relacionadas a la operatividad de los tanques de cocción, en productos como jamones y morcillas, o la cocción de arroz que es un subproducto utilizado en la línea de morcillas. Los principales factores de riesgo observados se indican en la Tabla 45.

Tabla 45. Factores de riesgo biomecánico identificados en cocción

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Sobrecarga postural	Repetitividad de movimiento	Levantamiento de cargas	Empuje/arrastre de cargas
Cocción de arroz	✓		✓	
Cocción de morcillas	✓		✓	✓
Cocción de jamones				✓

9. Inyección de piezas. Esta tarea consiste en tomar la pieza entera del cerdo, principalmente la chuleta, y llevar a cabo la inyección de salmuera en la misma, con el propósito de mejorar su sabor, suavidad, color y jugosidad. Dependiendo de la tecnología y medios de trabajo disponibles, la tarea pudiera variar, aunque en términos generales consta de las siguientes subtareas: pesado de la chuleta, inyección propiamente dicha, carga de la chuleta inyectada en carros transportadores o directamente en el horno. En la Tabla 46 se aprecian los factores de riesgo físico identificados.

Tabla 46. Factores de riesgo biomecánico identificados en inyección

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Sobrecarga postural	Repetitividad de movimiento	Levantamiento de cargas	Empuje/arrastre de cargas
Pesado de chuleta	✓	✓	✓	
Inyección de chuleta	✓	✓	✓	
Carga de carro transportador	✓	✓	✓	

Carga de horno	✓	✓	✓
----------------	---	---	---

10. Empaque de productos. Una vez los productos han sido elaborados, ellos pasan a la fase de empaque. Esta tarea consiste en la adecuación y disposición del producto en diferentes presentaciones para su comercialización. Dependiendo del tipo de producto y tecnología utilizada pueden presentarse diferentes variantes de la tarea. En el caso de las morcillas, el cual es un producto artesanal, el empaque abarca subtareas tales como: corte del pabito que une a las morcillas, separación de las morcillas, empaque en presentación individual (autoservicio) o en paquetes (paquetón), etiquetado del producto y el sellado al vacío (conocido en el sector como aspirado). Mientras que otros productos como las salchichas y los chorizos no requieren de la adecuación del producto previa al empaque y generalmente se realiza en líneas más automatizadas. Los principales factores de riesgo física detectados se presentan en la Tabla 47.

11. Embalaje. Esta tarea tiene como finalidad la protección del producto final para su almacenaje y posterior despacho. No se consiguieron mayores diferencias en la forma como se realiza esta tarea, excepto de las asociadas al tamaño y forma de los productos. En general incluye las subtareas de armado de cajas, encajado, etiquetado de cajas y paletizado. En la Tabla 48 se señalan los factores de riesgo de físico hallados en esta tarea.

Tabla 47. Factores de riesgo biomecánico identificados en empaque

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Sobrecarga postural	Repetitividad de movimiento	Levantamiento de cargas	Empuje/arrastre de cargas
Descarga de carro transportador	✓	✓	✓	✓
Descarga de horno	✓	✓	✓	
Corte de pabito	✓	✓		
Separación de piezas individual	✓	✓		
Alimentar línea empaque	✓	✓		
Empacado (autoservicio)	✓	✓		
Empacado (paquetón)	✓	✓	✓	
Etiquetado	✓	✓		
Sellado al vacío	✓	✓	✓	
Impresión de etiquetas	✓	✓		

Tabla 48. Factores de riesgo biomecánico identificados en embalaje

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Sobrecarga postural	Repetitividad de movimiento	Levantamiento de cargas	Empuje/arrastre de cargas
Armado de caja	✓	✓		
Encajado de producto	✓	✓	✓	
Etiquetado de caja	✓	✓		
Paletizado	✓		✓	✓
Transporte de paletas	✓			✓

Otras tareas como el horneado o el curado de productos se realizan con escasa intervención humana por lo que las mismas se han excluido del presente estudio.

Evaluación de los factores de riesgo biomecánico

Luego de identificar los factores de riesgo físico en las distintas tareas observadas, se procedió a la evaluación y cuantificación de su nivel de riesgo, de acuerdo a los protocolos establecidos en cada uno de los métodos respectivos, los cuales fueron descritos en las bases teóricas. Es importante aclarar que aun cuando la evaluación corresponde a un puesto de trabajo en específico, no todos los puestos iguales necesariamente presentan el mismo nivel de riesgo, ya que existen particularidades tales como: las medidas antropométricas del trabajador, el uso de herramientas o medios de trabajo distintos, las características y dimensiones del puesto de trabajo y la tecnología utilizada; por lo que los niveles de riesgo se asociaron a las condiciones de cada trabajador. Inclusive se encontraron casos en que los trabajadores siguen esquemas de rotación distintos o simplemente no rotan; en aquellos casos de rotación se consideraron los niveles de riesgo más adversos a los que se expone el individuo.

En lo sucesivo se presentan los niveles de riesgo más representativos (no únicos) de cada tarea, con el color indicativo de cada nivel (siguiendo los colores de alerta del semáforo). Estos niveles de riesgo forman parte del conjunto de variables independientes (input) del modelo que se propone, específicamente las variables de tipo biomecánico o físico. Por motivos de practicidad se han abreviado cada uno de los tipos de riesgo de la siguiente forma: sobrecarga postural: Pos, repetitividad de movimientos: Rep, levantamiento de cargas pesadas: Lev, empujes o arrastres de cargas pesadas: Emp.

En la Tabla 49 se indican los niveles de riesgo obtenidos para la tarea de matanza de cerdo.

Tabla 49. Niveles de riesgo biomecánico en matanza

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Pos	Rep	Lev	Emp
Operación de cámara CO ₂	1	1	1	1
Amarre de patas traseras	3	1	1	1
Degüelle	3	1	1	1
Colocación de roldana	3	3	1	1

De forma similar, los niveles de riesgo para las tareas de eviscerado, desposte y selección de partes se presentan en las Tablas 50, 51 y 52, respectivamente.

Tabla 50. Niveles de riesgo biomecánico en eviscerado

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Pos	Rep	Lev	Emp
Abertura abdominal	2	3	1	1
Extracción de recto	3	3	1	1
Extracción de vísceras blancas	3	2	1	1
Extracción de vísceras rojas	2	3	1	1
Corte de canal	3	2	1	1
Corte de papada	2	3	1	1
Extracción de baña torácica	2	2	1	1

Tabla 51. Niveles de riesgo biomecánico en desposte

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Pos	Rep	Lev	Emp
Transporte de cerdos	1	2	1	2
Corte de cabeza y patas delanteras	3	5	1	1
Levantar lomo	3	2	1	1
Corte de patas traseras	2	4	1	1
Embalaje de patas	4	2	2	1
Descuerado de chuleta	3	4	1	1
Separación de costilla y tocineta	3	4	1	1
Cuadre de tocineta	2	2	1	1

Tabla 52. Niveles de riesgo biomecánico en selección de piezas

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Pos	Rep	Lev	Emp
Selección de chuletas	3	2	2	1
Selección de tocinetas	3	2	2	1

Embalaje de tocino	4	1	2	2
Pesaje de pernil	2	3	1	1
Transporte de contenedor	2	1	3	2

En las Tablas 53 y 54 se señalan los niveles de riesgo de los factores biomecánicos para las tareas de preparación de condimentos y de elaboración de la mezcla.

Tabla 53. Niveles de riesgo biomecánico en preparación de condimentos

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Pos	Rep	Lev	Emp
Pesaje de condimentos	3	2	1	1
Transporte de bultos	2	1	2	1

Tabla 54. Niveles de riesgo biomecánico en mezcla

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Pos	Rep	Lev	Emp
Provisión de ingredientes	2	1	2	3
Pesado	2	1	1	1
Molido	1	1	1	1
Mezclado	3	1	2	1
Preparación de salmuera	3	1	2	1
Pelado de cebollas	2	3	2	1

En el caso de las tareas referidas a embutido de productos, cocción e inyección, los niveles de riesgo pueden observarse en las Tablas 55, 56 y 57.

Tabla 55. Niveles de riesgo biomecánico en embutido

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Pos	Rep	Lev	Emp
Limpieza de tripa	2	4	1	1
Embutido manual	2	5	1	1
Amarre de morcillas	2	6	1	1
Empaquetado	2	3	1	1
Entubado	2	4	2	1

Embutido automático	3	3	1	1
Descolgado de parales	4	3	3	1
Carga de carro transportador	4	3	3	1
Carga de horno	4	3	2	1
Enclipado de producto	3	4	1	1
Ubicación en moldes	4	1	2	1

Tabla 56. Niveles de riesgo biomecánico en cocción

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Pos	Rep	Lev	Emp
Cocción de arroz	2	1	1	1
Cocción de morcillas	3	1	3	2
Cocción de jamones	1	1	1	2

Tabla 57. Niveles de riesgo biomecánico en inyección

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Pos	Rep	Lev	Emp
Pesado de chuleta	2	3	2	1
Inyección de chuleta	3	3	1	1
Carga de carro transportador	3	3	3	1
Carga de horno	3	4	2	1

Finalmente, los niveles de riesgo biomecánico para las tareas de empaque y embalaje se señalan en las Tablas 58 y 59, respectivamente.

Tabla 58. Niveles de riesgo biomecánico en empaque

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Pos	Rep	Lev	Emp
Descarga de carro transportador	4	2	2	2
Descarga de horno	4	4	2	1
Corte de pabito	2	5	1	1
Separación de piezas individual	2	5	1	1
Alimentar línea empaque	2	5	1	1
Empacado (autoservicio)	2	5	1	1

Empacado (paquetón)	2	5	1	1
Etiquetado	2	5	1	1
Sellado al vacío	2	2	1	1
Impresión de etiquetas	2	5	1	1

Al analizar la proporción de trabajadores expuestos a los diferentes niveles de riesgo en cada factor biomecánico, se obtuvo que el 82,2% (143) de los trabajadores considerados en la investigación se encuentran expuestos a los niveles intermedios de riesgos por sobrecarga postural (Nivel 2 y 3) y un 11,5% (20) adoptan posturas con riesgo alto (ver Figura 30).

Tabla 59. Niveles de riesgo biomecánico en embalaje

Subtarea	Factor de riesgo biomecánico			
	Pos	Rep	Lev	Emp
Armado de caja	2	2	1	1
Encajado de producto	3	3	2	1
Etiquetado de caja	1	1	1	1
Paletizado	4	3	2	2
Transporte de paletas	1	1	1	2

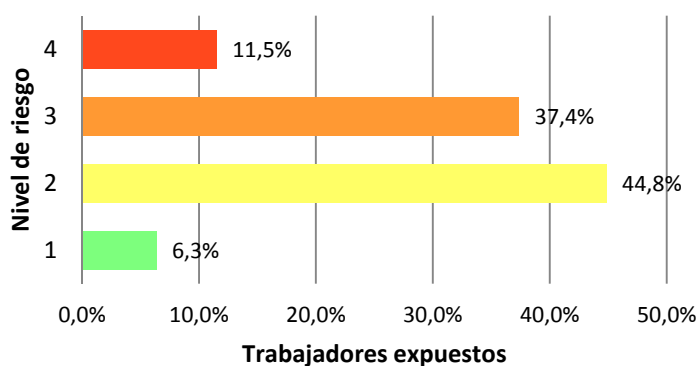


Figura 30. Distribución de trabajadores según nivel de riesgo por sobrecarga postural

El factor de repetitividad de movimientos presentó una distribución similar al anterior, la mayor proporción de datos se agruparon en los niveles intermedios de la escala de riesgo. Así, el 37,4% (65) de los trabajadores se encuentran expuestos a niveles de riesgo por repetitividad de medio a alto (Niveles 4, 5 y 6), mientras que el 35,1% (61) se ubicaron en niveles aceptables y óptimos (Niveles 1 y 2), tal como se aprecia en la Figura 31.

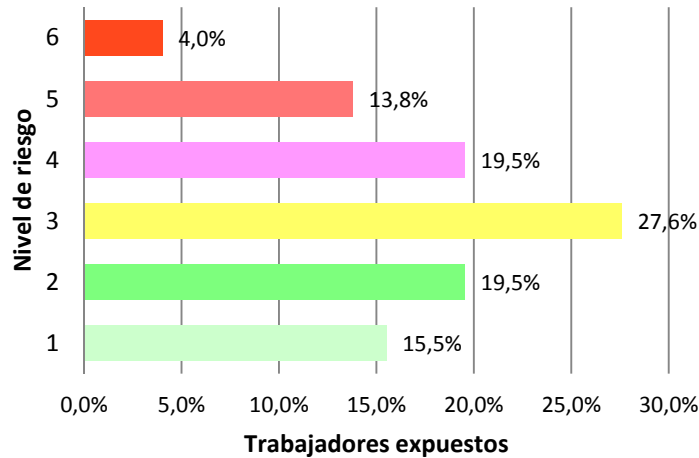


Figura 31. Distribución de trabajadores según nivel de riesgo por repetitividad

Los factores de levantamiento y empujes o arrastres de cargas pesadas presentaron un comportamiento semejante; son factores que no significan riesgos para la mayoría de los trabajadores evaluados. Se consiguió que el 59,2% (103) de los individuos no se hallan en riesgo por levantamiento de cargas, y sólo un 7,5% presenta un riesgo alto (ver Figura 32); mientras que solo el 2,9% se encuentra en riesgo alto debido a la realización de empujes o arrastres de cargas pesadas (ver Figura 33), representando el factor físico más favorable.

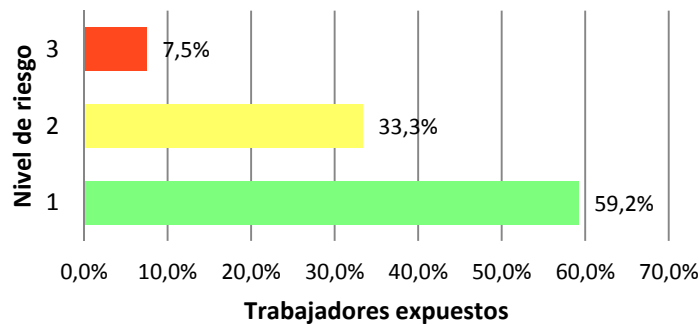


Figura 32. Distribución de trabajadores según nivel de riesgo por levantamientos

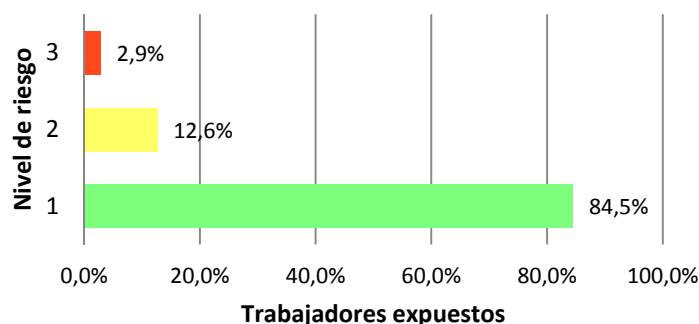


Figura 33. Distribución de trabajadores según nivel de riesgo por empujes/arrastres

Evaluación de los factores de riesgo psicosocial

Los factores psicosociales representan un conjunto de seis variables que completan el total de atributos independientes analizados, sobre los cuales se basará la construcción del modelo. Estos factores de riesgo se evaluaron a la totalidad de trabajadores considerados en la investigación, siguiendo el protocolo establecido por el método CoPsoQ-istas21, a partir del cual se estableció el nivel de riesgo correspondiente, definidos por el mismo método como: más favorable, intermedio y más desfavorable. A cada nivel se le asignó respectivamente los valores de 1, 2 y 3, de manera de cuantificar la variable.

El instrumento utilizado para recopilar las percepciones de los trabajadores respecto a cada una de las variables psicosociales consideradas por el método registró una confiabilidad alta por consistencia interna, obteniéndose un coeficiente Alfa de Cronbach de 0,713, indicativo de una homogeneidad y coherencia aceptable de las respuestas a los ítems de la escala.

En cuanto a la validez del instrumento, en primer lugar se considera que dada la trayectoria y el reconocimiento que ha tenido el método CoPsoQ-istas21, el cual integra todas las dimensiones importantes sugeridas por la literatura en materia de factores de riesgo psicosocial, presenta validez de contenido. En segundo lugar, al realizar la prueba U de Mann-Whitney para la comparación de dos muestras independientes y con el apoyo de una pregunta auxiliar incluida en el instrumento relacionada teóricamente con la variable, se encontró que la escala tiene validez concurrente (significativa al nivel 0,05), y por lo tanto hay evidencia de validez de criterio. Adicionalmente, empleando otra pregunta auxiliar incluida en la escala, no relacionada con la variable en estudio, y mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman de rangos ordenados, se determinó que el

instrumento presenta validez discriminante (significativa al nivel 0,05) y por consiguiente hay evidencia de validez de constructo.

Por otro lado, no se encontraron valores atípicos inexplicables, fuera del rango de respuestas establecido para cada ítem. Sin embargo, se presentaron algunos datos ausentes, los cuales obedecen a un proceso completamente aleatorio, por lo que se decidió conservar las instancias con valores perdidos e imputar la información faltante sustituyendo por la moda, dado que se trata de variables categóricas. Los resultados obtenidos por cada factor psicosocial se pueden observar en la Figura 34.

Los factores referidos a la inseguridad y a la estima resaltan como las variables más desfavorables percibidas por los trabajadores, totalizando un 85,6% y 61,5%, respectivamente. Entre tanto, las variables con mayoría favorable fueron: las exigencias psicológicas, el apoyo social y calidad de liderazgo, y el trabajo activo y las posibilidades de desarrollo, en las cuales se ubicaron el 69,5%, 59,2% y 51,7% de los trabajadores, respectivamente.

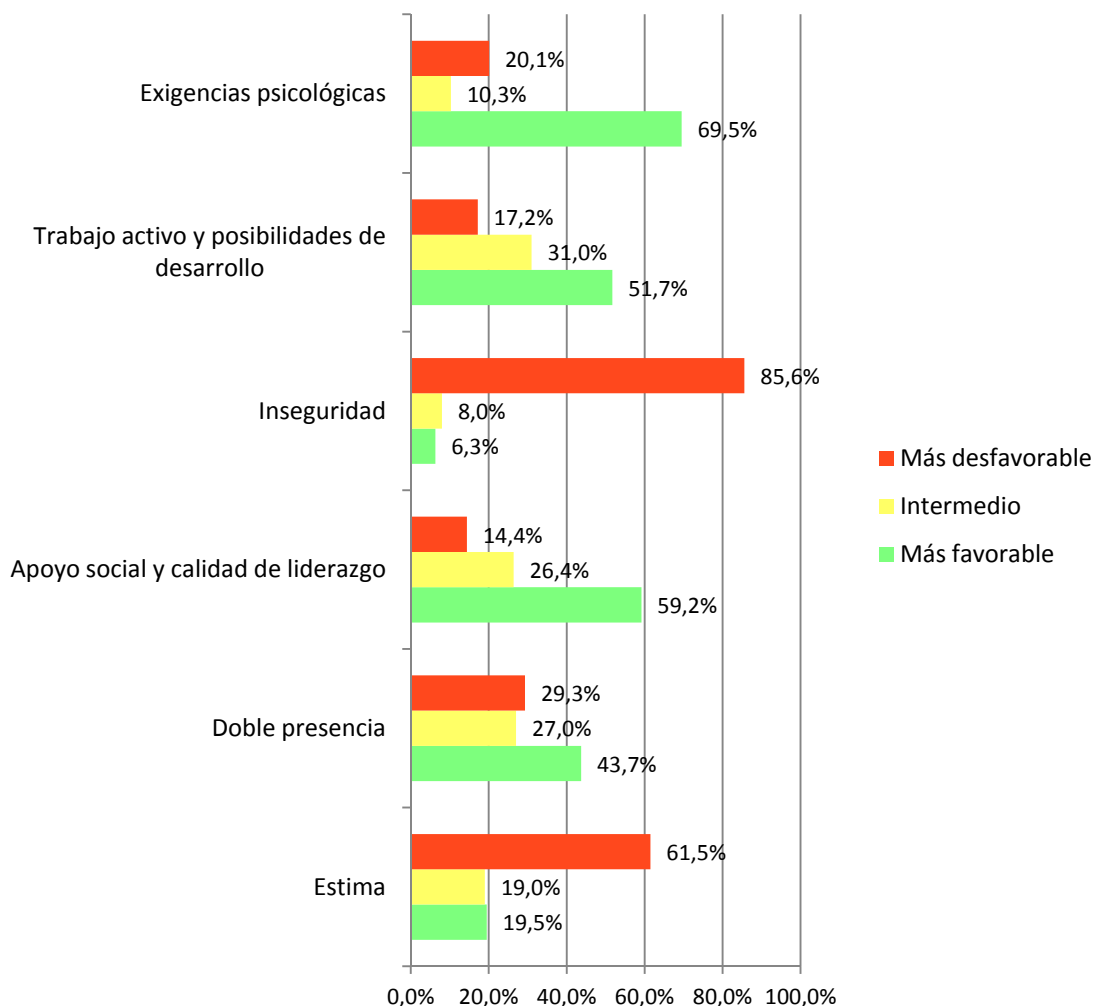


Figura 34. Distribución de trabajadores según nivel de riesgo psicosocial

Culminada la valoración de los diferentes factores de riesgo físico y psicosocial contemplados en el estudio, se procedió a construir una matriz contentiva de los 174 trabajadores analizados (filas) y los valores cuantitativos asociados a cada una de las variables independientes estudiadas (columnas), las cuales suman un total de veinte.

En la Tabla 60 se presenta el listado definitivo de las variables independientes, junto con las categorías de respuestas que cada una puede tomar. A este grupo de variables se le han denominado también variables de entrada, factores o atributos.

Adicionalmente se incluyen dentro de las columnas de la matriz, las variables dependientes o variables de salidas, representadas por la existencia o no de molestias musculoesqueléticas en las seis regiones del cuerpo consideradas (ver Tabla 61).

Tabla 60. Listado de variables de entrada

Variable de entrada	Categorías de respuesta
1. Sobrecarga postural	1: aceptable / 2: leve / 3: moderado / 4: alto
2. Repetitividad de movimientos	1: óptimo / 2: aceptable / 3: muy ligero / 4: ligero / 5: medio / 6: alto
3. Levantamiento de cargas	1: aceptable / 2: moderado / 3: inaceptable
4. Empuje o arrastre de cargas	1: aceptable / 2: moderado / 3: inaceptable
5. Exigencias psicológicas	1: favorable / 2: intermedio / 3: desfavorable
6. Trabajo activo y posibilidades de desarrollo	1: favorable / 2: intermedio / 3: desfavorable
7. Inseguridad	1: favorable / 2: intermedio / 3: desfavorable
8. Apoyo social y calidad de liderazgo	1: favorable / 2: intermedio / 3: desfavorable
9. Doble presencia	1: favorable / 2: intermedio / 3: desfavorable
10. Estima	1: favorable / 2: intermedio / 3: desfavorable
11. Edad	1: 19-26 años / 2: 27-32 años / 3: 33-37 años / 4: 38-44 años / 5: 45-62 años
12. Género	0: femenino / 1: masculino
13. Índice de masa corporal	1: <16 / 2: 16-16,99 / 3: 17-18,49 / 4: 18,5-24,99 / 5: 25-29,99 / 6: 30-34,99 / 7: 35-39,99 / 8: >40
14. Hábito de tabaquismo	0: No fuma / 1: Si fuma
15. Antecedentes médicos relacionados a TME	0: No tiene / 1: Sí tiene
16. Realización de labores domésticas	0: Nunca / 1: Casi nunca / 2: A veces / 3: Casi siempre / 4: Siempre
17. Realización de entrenamiento físico	0: Nunca / 1: Casi nunca / 2: A veces / 3: Casi siempre / 4: Siempre
18. Antigüedad en el cargo	1: 0-1 año / 2: 2-4 años / 3: 5-7 años / 4: 8-14 años / 5: 15-27 años
19. Realización de sobretiempo	0: No hace / 1: Si hace
20. Rotación entre distintos puestos	0: No rota / 1: Si rota

Tabla 61. Listado de variables de salida

Variable de salida	Categorías de respuesta
1. Molestia musculoesquelética en hombros	Sin molestia / Con TME
2. Molestia musculoesquelética en espalda	Sin molestia / Con TME
3. Molestia musculoesquelética en manos/muñeca	Sin molestia / Con TME
4. Molestia musculoesquelética en cuello	Sin molestia / Con TME
5. Molestia musculoesquelética en piernas/pies	Sin molestia / Con TME
6. Molestia musculoesquelética en codos/antebrazos	Sin molestia / Con TME

Selección de los Factores Relevantes en el Desarrollo de TME

Adicional a la recolección, depuración, integración y transformación de los datos presentados hasta este momento, debe agregarse la selección de los atributos o variables relevantes, lo cual constituye un paso fundamental para la simplificación y construcción del modelo propuesto.

A continuación se describe la selección de factores relevantes para cada una de las partes del cuerpo consideradas. Para ello, en primer lugar se generaron distintos subconjuntos de factores, mediante los métodos tipo filtro *CfsSubsetEval* y *ConsistencySubsetEval* combinados con diferentes estrategias de búsqueda, utilizando el entorno Weka; para lo cual se debió convertir la base de datos en un archivo de extensión arff requerido por Weka (Anexo D).

Una vez generadas las diferentes alternativas, se procedió a compararlas en función del porcentaje de precisión obtenido con diferentes métodos de clasificación. De esta manera se seleccionó el conjunto de atributos que maximizara el nivel de precisión resultante, a la vez que permitió determinar el método de clasificación a utilizar.

Selección de factores relevantes en TME de hombros

Al contrastar las diferentes variables de entrada respecto a la variable molestias en los hombros, pueden visualizarse los histogramas (generados por Weka) de la Figura 35, en los que es posible diferenciar los trabajadores sin molestias musculoesqueléticas en hombros (color azul) y con molestias (color rojo).

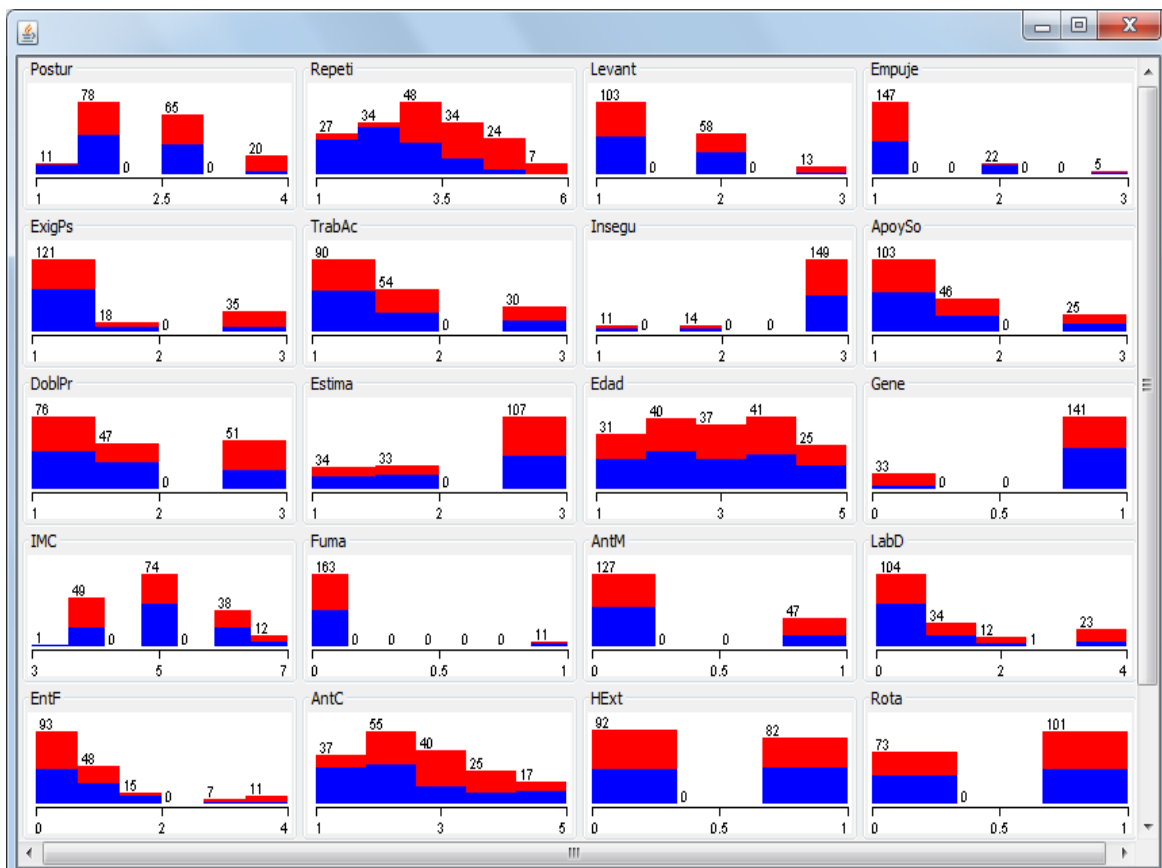


Figura 35. Histogramas de factores según TME de hombros

Por simple observación es posible suponer que no todas las variables tienen el mismo grado de discriminación y de relevancia en la ocurrencia del fenómeno en estudio, por lo que resulta de gran utilidad identificar esos atributos clave, que permitirán la futura construcción de su modelo de clasificación. De esta forma, aplicando los métodos de selección, se obtuvieron los subconjuntos de atributos que se señalan en la Tabla 62. Se puede apreciar que las soluciones son diversas y van desde la inclusión de 3 hasta 12 atributos; también puede observarse que atributos como el 1 (sobrecarga postural), el 2 (repetitividad de movimientos) y el 18 (antigüedad en el cargo) figuran en todas las soluciones obtenidas.

Tabla 62. Subconjuntos de atributos seleccionados para molestias de hombros

Método de selección	Estrategia de búsqueda	N° de atributos	Solución obtenida
CfsSubsetEval	BestFirst	3	1 – 2 – 18
CfsSubsetEval	ExhaustiveSearch	3	1 – 2 – 18
CfsSubsetEval	GeneticSearch	3	1 – 2 – 18
CfsSubsetEval	GreedyStepwise	3	1 – 2 – 18
CfsSubsetEval	LinearForwardSelection	3	1 – 2 – 18
CfsSubsetEval	RandomSearch	4	1 – 2 – 12 – 18
CfsSubsetEval	RankSearch	3	1 – 2 – 18
CfsSubsetEval	ScatterSearchV1	3	1 – 2 – 18
CfsSubsetEval	SubsetSizeForwardSelection	3	1 – 2 – 18
ConsistencySubsetEval	BestFirst	6	1 – 2 – 4 – 5 – 12 – 18
ConsistencySubsetEval	ExhaustiveSearch	6	1 – 2 – 4 – 5 – 12 – 18
ConsistencySubsetEval	GeneticSearch	9	1 – 2 – 4 – 5 – 8 – 11 – 12 – 18 – 19
ConsistencySubsetEval	GreedyStepwise	4	1 – 2 – 5 – 18
ConsistencySubsetEval	LinearForwardSelection	6	1 – 2 – 4 – 5 – 12 – 18
ConsistencySubsetEval	RandomSearch	12	1 – 2 – 4 – 5 – 7 – 8 – 9 – 11 – 12 – 13 – 17 – 18
ConsistencySubsetEval	RankSearch	6	1 – 2 – 4 – 5 – 12 – 18
ConsistencySubsetEval	ScatterSearchV1	3	1 – 2 – 18
ConsistencySubsetEval	SubsetSizeForwardSelection	4	1 – 2 – 5 – 18

En la Tabla 63 se muestra el resumen de las posibles soluciones (identificadas como escenarios), organizadas de mayor a menor cantidad de atributos, y donde además se adiciona el escenario de tomar las veinte variables originales, es decir, sin descartar alguna de ellas.

Tabla 63. Escenarios generados para molestias de hombros

Escenario	N° atributos	Atributos
E1	20	Todos los atributos
E2	12	1 – 2 – 4 – 5 – 7 – 8 – 9 – 11 – 12 – 13 – 17 – 18
E3	9	1 – 2 – 4 – 5 – 8 – 11 – 12 – 18 – 19
E4	6	1 – 2 – 4 – 5 – 12 – 18
E5	4	1 – 2 – 12 – 18
E6	4	1 – 2 – 5 – 18
E7	3	1 – 2 – 18

Luego, con la finalidad de determinar la solución que ofrezca la mejor precisión de predicción, se emplearon diferentes algoritmos de aprendizaje (clasificadores) disponibles

en Weka para conocer el porcentaje de aciertos (instancias clasificadas correctamente) en cada uno de los escenarios planteados. De esta manera en la Tabla 64 se señala el mayor porcentaje de precisión o aciertos obtenido en cada escenario así como los clasificadores que permitieron obtener tales valores.

Tabla 64. Precisión obtenida en cada escenario para molestias de hombros

Escenario	Clasificador (es)	Precisión
E1	SimpleLogistic	82,18 %
E2	ComplementNaiveBayes / FT	79,89 %
E3	NaiveBayes / Logistic / FT	81,03 %
E4	NaiveBayes	80,46 %
E5	RBFNetwork	82,18 %
E6	FT	83,33 %
E7	FT	82,76 %

El mayor porcentaje de precisión (83,33%) se obtiene cuando se emplea el clasificador *FT* (*Functional Trees*) en el escenario 6, formado por cuatro atributos. Este clasificador pertenece al grupo de los algoritmos basados en árboles de decisión en Weka.

En la Figura 36 pueden observarse los porcentajes de precisión alcanzados según el tipo de clasificador utilizado. En general, los clasificadores de árboles de decisión y funciones ofrecen mejores resultados dependiendo del escenario, mientras que los algoritmos basados en reglas ofrecen los niveles de precisión más bajos. También puede apreciarse una tendencia a mejorar las precisiones, en la medida que se reduce la cantidad de atributos considerados.

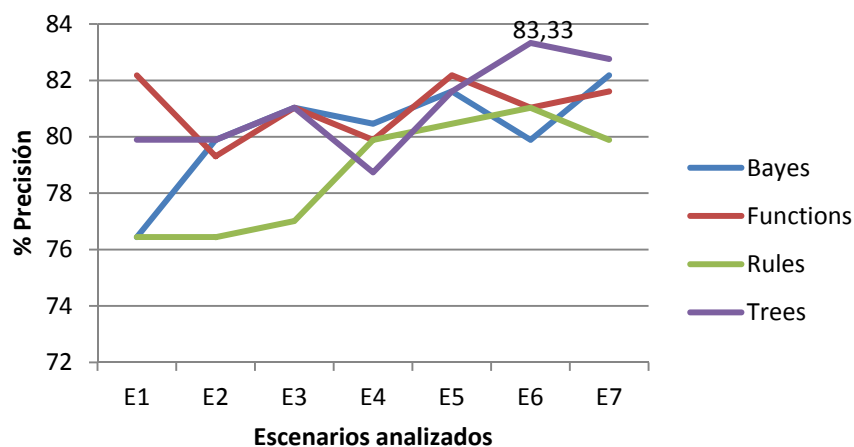


Figura 36. Precisión alcanzada por tipo de clasificador en TME de hombros

De esta forma, los atributos que mejor predicen la aparición de TME de hombros en trabajadores de la industria cárnica, son: la sobrecarga postural, la repetitividad de movimientos, las exigencias psicológicas y la antigüedad en el cargo (ver Tabla 65).

Tabla 65. Atributos seleccionados para TME de hombros

Atributo	Definición	Tipo
1	Sobrecarga postural	Biomecánico
2	Repetitividad de movimientos	
5	Exigencias psicológicas	Psicosocial
18	Antigüedad en el cargo	Individual

Selección de factores relevantes en TME de espalda

El procedimiento seguido para la selección de atributos en hombros se llevó a cabo para el caso de los TME de espalda. En la Figura 37 se presentan los histogramas generados para cada una de las veinte variables independientes en función de la existencia de este TME.

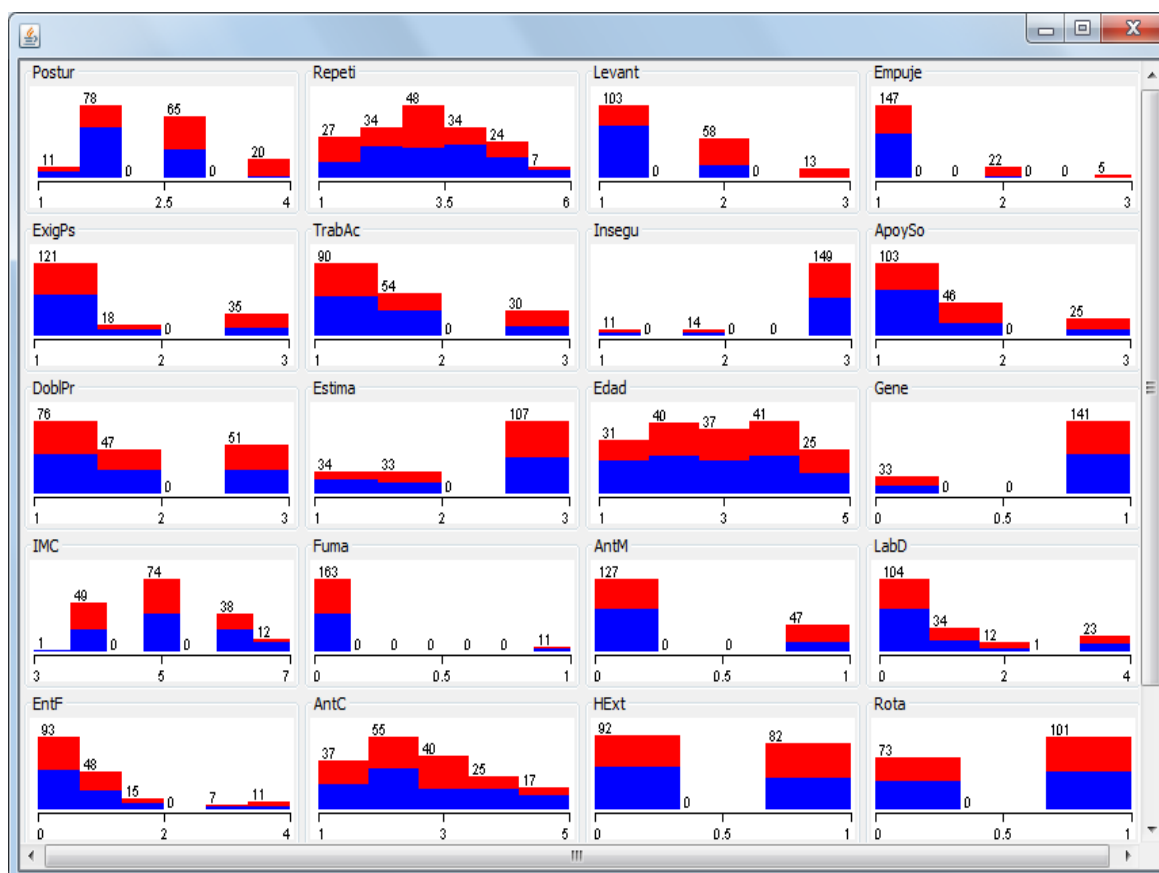


Figura 37. Histogramas de factores según TME de espalda

En la Tabla 66 se resumen los diferentes subconjuntos de factores generados por los métodos de selección utilizados, así como los porcentajes de precisión alcanzados y los clasificadores respectivos que permitieron lograr tales valores. Puede notarse que la cantidad de factores que mejor explican la aparición de TME de espalda oscila entre 4 y 11, resaltando los identificados con los números 3, 4, 8 y 1.

Tabla 66. Escenarios y precisiones alcanzadas para molestias de espalda

Escenario	Nº atributos	Atributos	Clasificador (es)	Precisión
E1	20	Todos los atributos	SimpleLogistic / LMT	79,31 %
E2	11	1 – 2 – 3 – 4 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 15 – 20	SimpleLogistic / LMT	80,46 %
E3	7	1 – 3 – 4 – 7 – 8 – 13 – 15	SimpleLogistic / LMT	83,33 %
E4	5	1 – 3 – 4 – 8 – 15	Logistic / SimpleLogistic / FT / LMT	83,33 %
E5	4	3 – 4 – 8 – 15	RandomTree	81,61 %
E6	4	1 – 3 – 4 – 8	LADTree	77,59 %

Aun cuando dos subconjuntos de atributos distintos (E3 y E4) permiten alcanzar los porcentajes más altos de precisión (83,33 %), se optará por el que requiere menor cantidad de variables de entrada, por lo que el escenario E4 es el más idóneo. Este nivel de precisión se logra empleando los clasificadores *Logistic*, *SimpleLogistic*, *FT* y *LMT*; los dos primeros pertenecientes al grupo de las funciones y los dos últimos pertenecientes al grupo de los algoritmos basados en árboles de decisión, según la clasificación hecha por Weka.

En la Figura 38 se visualizan los niveles de precisión que se pueden alcanzar al emplear clasificadores de distinto tipo, resaltando los métodos basados en funciones y en árboles de decisión, donde se alcanza el máximo valor de 83,33%. También puede observarse como en la mayoría de los clasificadores se logran los mejores resultados cuando se emplean los subconjuntos formados por 5 y 7 atributos (Escenarios 3 y 4), ya que al disminuir la cantidad de variables a 4, decrece el nivel de precisión.

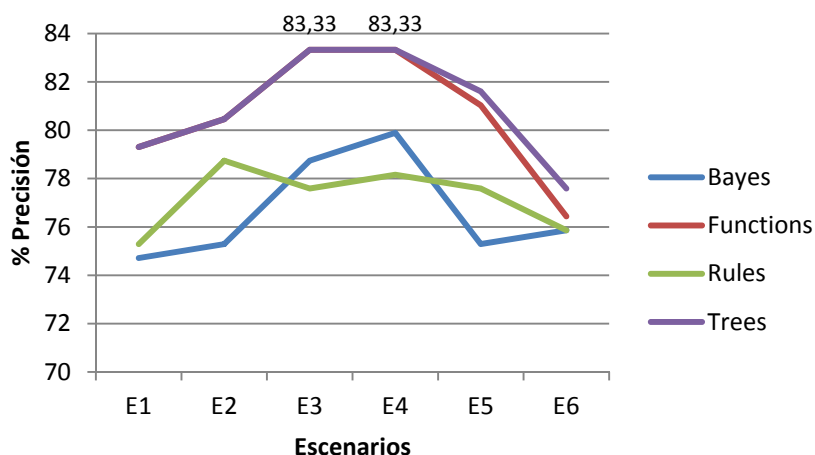


Figura 38. Precisión alcanzada por tipo de clasificador en TME de espalda

En la Tabla 67 se listan los factores seleccionados para explicar la ocurrencia de TME a nivel de la espalda.

Tabla 67. Atributos seleccionados para TME de espalda

Atributo	Definición	Tipo
1	Sobrecarga postural	Biomecánico
3	Levantamiento de cargas pesadas	
4	Empuje o arrastre de cargas pesadas	
8	Apoyo social y calidad de liderazgo	Psicosocial
15	Antecedentes médicos de TME	Individual

Selección de factores relevantes en TME de manos y muñecas

Una vez más, siguiendo el procedimiento anteriormente señalado, se efectuó la selección de los factores relevantes que se asocian a molestias musculoesqueléticas a nivel de las manos y muñecas de los trabajadores de la industria cárnica analizada. Los histogramas generados por Weka relacionados al comportamiento de la variable TME de manos y muñecas respecto a cada una de las veinte variables independientes consideradas, se muestran en la Figura 39.

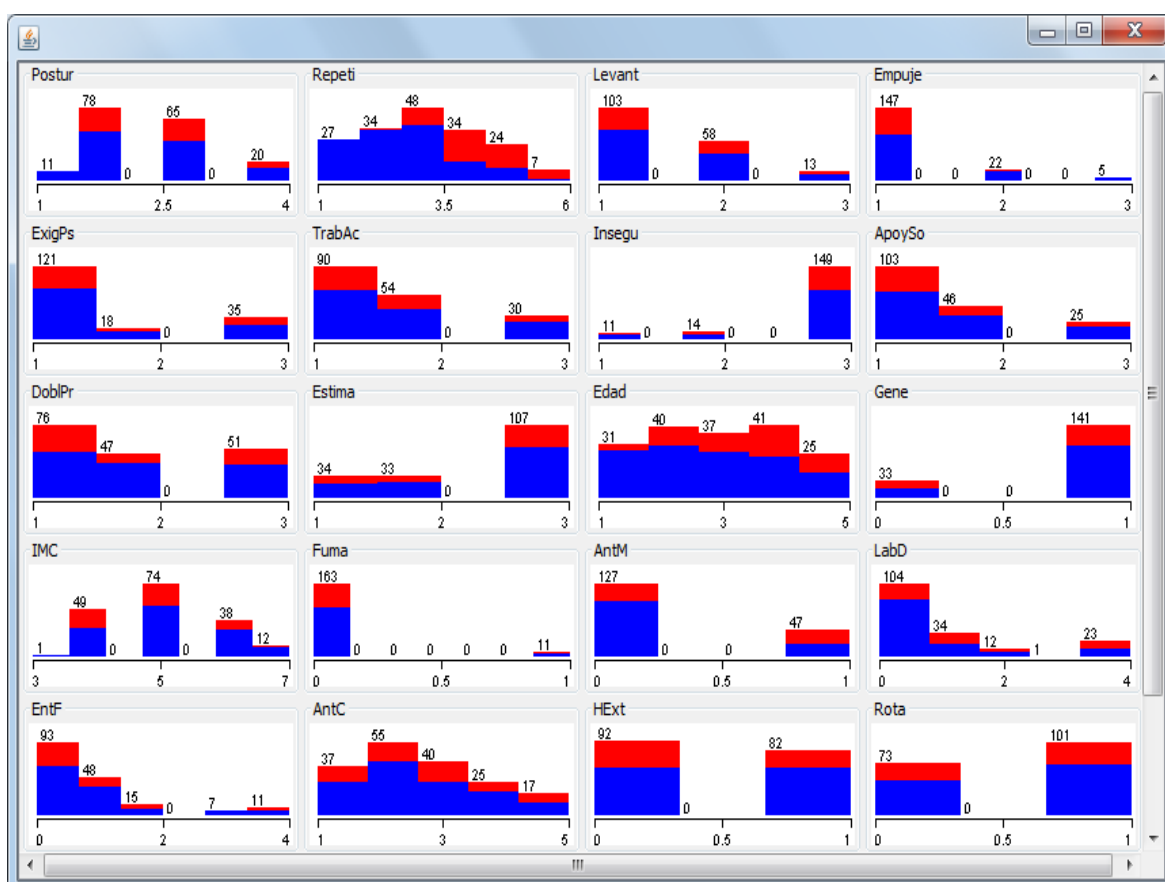


Figura 39. Histogramas de factores según TME de manos/muñecas

La síntesis de los diferentes subconjuntos de factores generados por los métodos de selección, así como los porcentajes de precisión alcanzados y los clasificadores que permitieron lograrlos, se presentan en la Tabla 68. En este caso la cantidad de factores seleccionados fluctúa entre 2 y 13, siendo el atributo 2 (repetitividad) común en todos los subconjuntos generados.

Tabla 68. Escenarios y precisiones alcanzadas para molestias de manos/muñecas

Escenario	Nº atributos	Atributos	Clasificador (es)	Precisión
E1	20	Todos los atributos	SimpleLogistic	83,91 %
E2	13	1 – 2 – 4 – 5 – 8 – 10 – 11 – 13 – 14 – 15 – 16 – 17 – 19	Logistic	83,91 %
E3	6	1 – 2 – 12 – 15 – 16 – 20	FT	83,91 %
E4	5	1 – 2 – 4 – 15 – 16	LADTree	82,76 %
E5	4	1 – 2 – 15 – 16	LADTree	82,76 %
E6	2	2 – 15	Ridor	81,03 %
E7	2	2 – 4	Varios	80,46 %

La precisión más alta (83,91%) se consigue en los escenarios 1, 2 y 3, subconjuntos formados por 20, 13 y 6 factores, respectivamente; por lo que se preferirá el subconjunto formado por menor cantidad de variables, en este caso el escenario 3. El método que permite alcanzar tal nivel de precisión es el algoritmo basado en árboles decisión denominado *Functional Trees (FT)*.

En la Figura 40 se comparan gráficamente los niveles de precisión logrados por cada tipo de clasificador en los distintos escenarios planteados. Se puede visualizar que los clasificadores de tipo funciones y árboles de decisión ofrecen los mejores resultados para subconjuntos con mayor cantidad de atributos (escenarios 1, 2 y 3) y decae en la medida que se reduce la cantidad de factores.

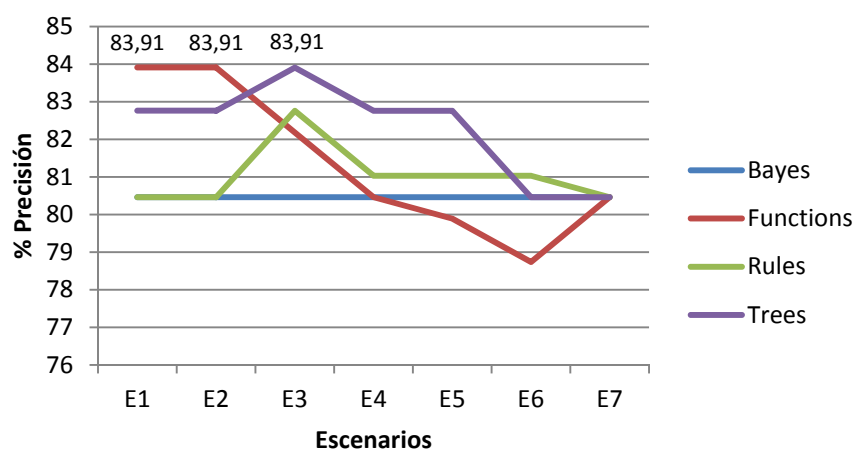


Figura 40. Precisión alcanzada por tipo de clasificador en TME de manos/muñecas

El subconjunto de seis factores, preseleccionado para la predicción de TME de manos y muñecas se detalla en la Tabla 69.

Tabla 69. Atributos seleccionados para TME de manos/muñecas

Atributo	Definición	Tipo
1	Sobrecarga postural	Biomecánico
2	Repetitividad de movimientos	
12	Género	Individual
15	Antecedentes médicos de TME	
16	Realización de labores domésticas	
20	Rotación entre puestos de trabajo	

Selección de factores relevantes en TME de cuello

El cuello representa la cuarta región corporal más afectada desde el punto de vista musculoesquelético, en la muestra consultada. En la Figura 41 se ilustran gráficamente cada una de las variables de entrada en función de la presencia o no de TME de cuello.

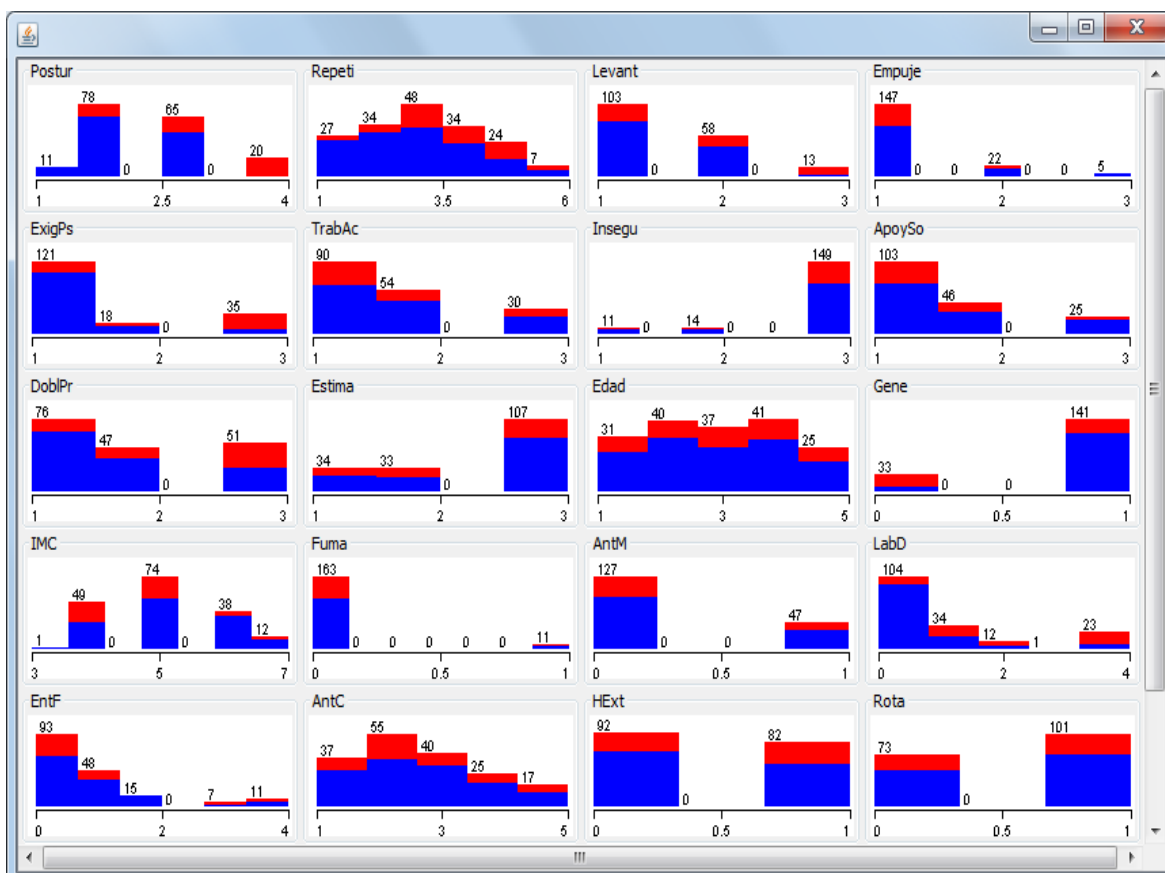


Figura 41. Histogramas de factores según TME de cuello

La aplicación de los distintos métodos de selección y estrategias de búsqueda permitió generar siete subconjuntos de atributos, los cuales fueron valorados en función de la precisión obtenida utilizando diferentes métodos de clasificación. Estos subconjuntos varían entre 3 y 12 factores, tal como se visualiza en la Tabla 70, donde además se mencionan los clasificadores que originaron los mejores niveles de precisión.

Tabla 70. Escenarios y precisiones alcanzadas para molestias de cuello

Escenario	N° atributos	Atributos	Clasificador (es)	Precisión
E1	20	Todos los atributos	J48	89,08 %
E2	12	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 8 – 9 – 10 – 12 – 15 – 16 – 17	NBTree	89,08 %
E3	7	1 – 2 – 3 – 5 – 9 – 13 – 16	BayesNet / DTNB / J48	89,08 %
E4	7	1 – 2 – 3 – 5 – 9 – 12 – 16	JRip / J48	89,08 %
E5	6	1 – 2 – 3 – 5 – 9 – 16	BayesNet / DTNB / JRip / J48	89,08 %
E6	5	1 – 2 – 5 – 9 – 16	BayesNet / DTNB / JRip / J48	89,08 %
E7	3	1 – 2 – 5	DTNB / LMT	90,23 %

La combinación del subconjunto 7, conformado por tres atributos, y los clasificadores *DTNB* (basado en reglas) y *LMT* (basado en árboles de decisión) conducen a la precisión más alta alcanzada (90,23%). En la Figura 42 se muestran, a manera comparativa, los niveles de precisión máximos logrados en cada escenario, por cada tipo de clasificador analizado; donde se destaca una ligera tendencia a mejorar las precisiones en la medida que se reduce la cantidad de atributos considerados.

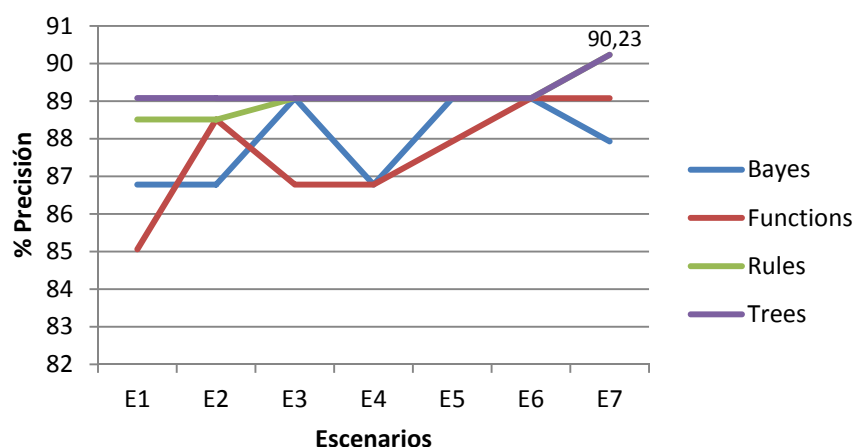


Figura 42. Precisión alcanzada por tipo de clasificador en TME de cuello

Por lo tanto los factores que mejor predicen los TME de cuello se presentan en la Tabla 71, en donde dos de ellos pertenecen al grupo biomecánico y uno al psicosocial.

Tabla 71. Atributos seleccionados para TME de cuello

Atributo	Definición	Tipo
1	Sobrecarga postural	Biomecánico
2	Repetitividad de movimientos	
5	Exigencias psicológicas	Psicosocial

Selección de factores relevantes en TME de piernas y pies

Las molestias musculoesqueléticas en las extremidades inferiores afectan al 22,4% de los trabajadores encuestados. La distribución de estos trabajadores con relación a cada una de las variables independientes analizadas puede observarse en los histogramas de la Figura 43.

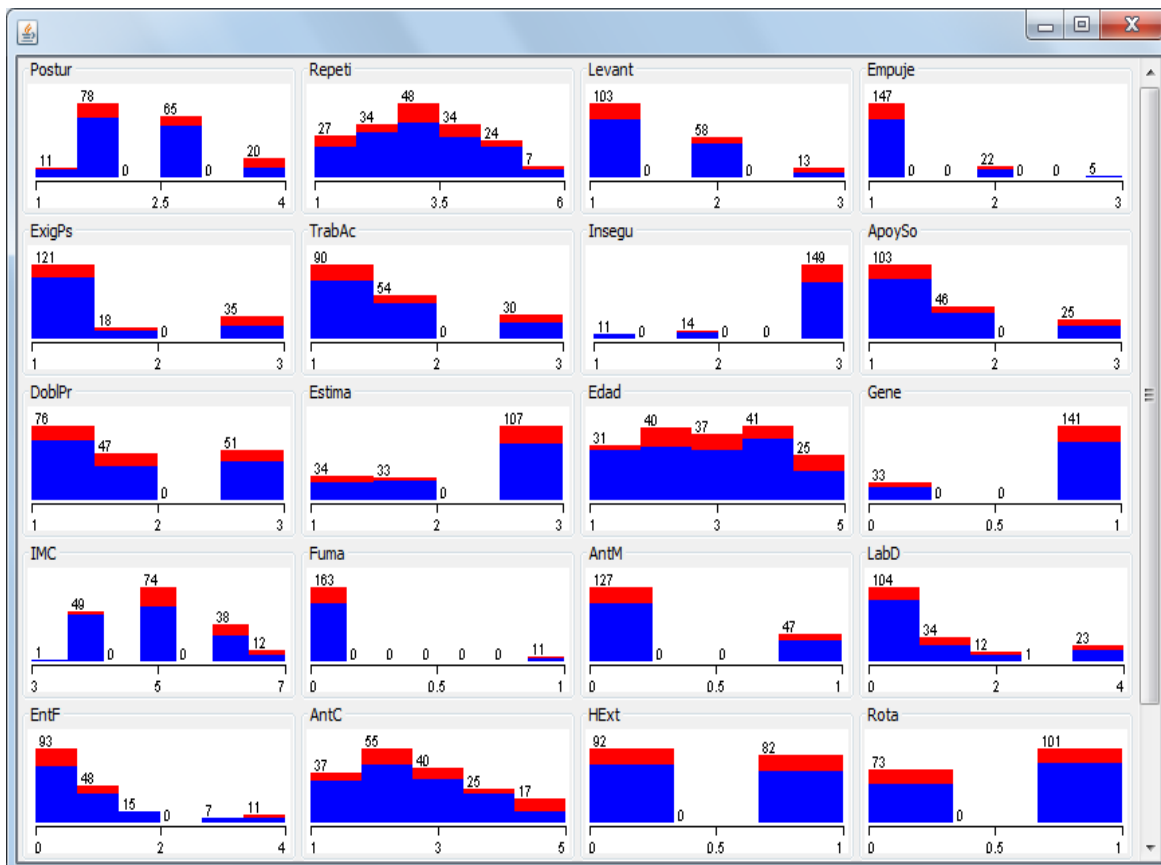


Figura 43. Histogramas de factores según TME de piernas/pies

A partir de la aplicación de los métodos de selección se obtuvieron cuatro escenarios diferentes, incluyendo la alternativa de dejar a los 20 atributos, tal como se visualiza en la

Tabla 72. Adicionalmente se señalan las precisiones logradas en cada caso y los clasificadores respectivos.

Tabla 72. Escenarios y precisiones alcanzadas para molestias de piernas/pies

Escenario	N° atributos	Atributos	Clasificador (es)	Precisión
E1	20	Todos los atributos	Varios	77,59 %
E2	12	2 – 5 – 6 – 9 – 11 – 12 – 13 – 14 – 17 – 18 – 19 – 20	LMT	78,74 %
E3	8	4 – 5 – 7 – 9 – 12 – 13 – 14 – 19	SimpleLogistic	79,89 %
E4	2	5 – 13	SimpleLogistic / RandomTree	79,89 %

Aun cuando los subconjuntos de atributos 3 y 4 permiten obtener la precisión más alta de 79,89%, el escenario 4 requiere de menor número de factores por lo que este constituye la opción seleccionada. Los clasificadores que obtienen esta precisión son el *SimpleLogistic* y el *RandomTree*, pertenecientes al grupo de algoritmos basados en funciones y en árboles de decisión, respectivamente. Gráficamente puede visualizarse en la Figura 44 la comparación entre los distintos tipos de clasificadores, destacando que la precisión mejora al reducirse el número de variables y que las precisiones alcanzadas para los algoritmos tipo Bayes coinciden con las de los algoritmos tipo reglas (*Rules*) en todos los escenarios.

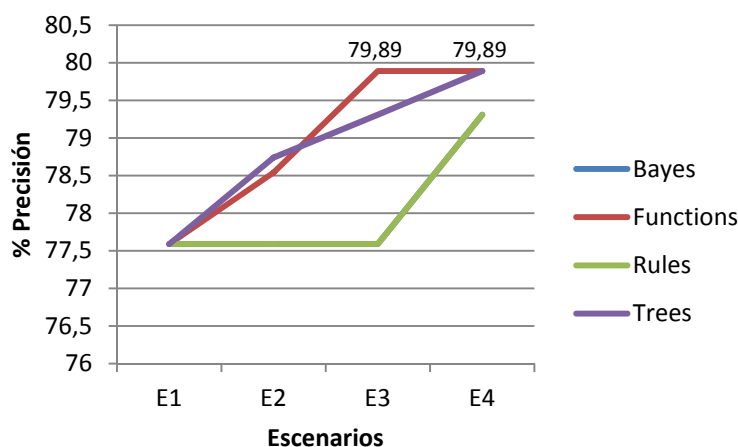


Figura 44. Precisión alcanzada por tipo de clasificador en TME de piernas/pies

Los dos factores que forman el escenario 4 se mencionan en la Tabla 73.

Tabla 73. Atributos seleccionados para TME de piernas/pies

Atributo	Definición	Tipo
----------	------------	------

5	Exigencias psicológicas	Psicosocial
13	Índice de masa corporal	Individual

Selección de factores relevantes en TME de codos y antebrazos

La región intermedia de las extremidades superiores (codos y antebrazos) representa la parte del cuerpo menos afectada según los datos recopilados de la muestra. Los histogramas de los diferentes factores generados por Weka para las molestias ubicadas en esta zona corporal se presentan en la Figura 45.

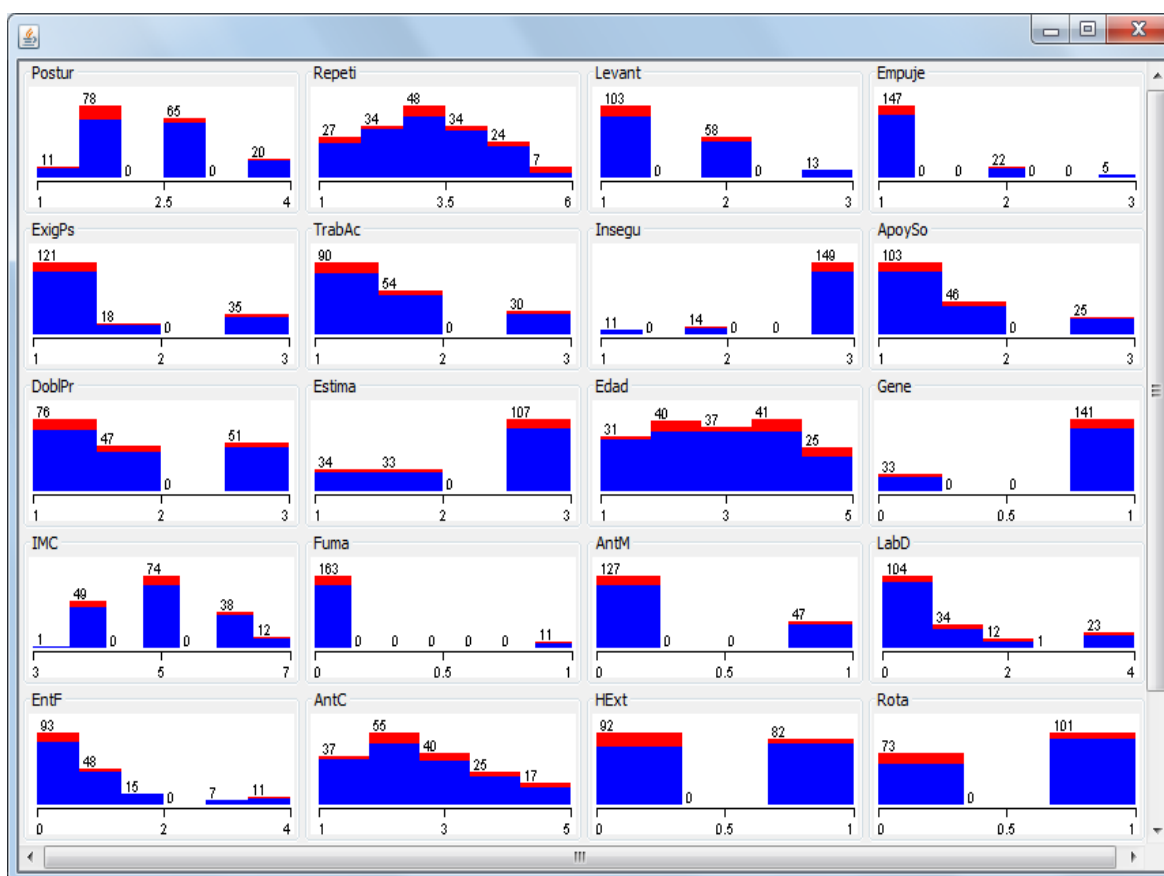


Figura 45. Histogramas de factores según TME de codos/antebrazos

Los subconjuntos obtenidos y la precisión alcanzada en cada uno de ellos se resumen en la Tabla 74. Se puede resaltar que en todos los escenarios se alcanza la misma precisión máxima de 86,78%, incluyendo dos escenarios formados por una sola variable.

Los escenarios 4 y 5 representan la mejor opción, ya que presentan la misma precisión con menor cantidad de atributos. En el caso del escenario 4 se seleccionó la variable

biomecánica de empuje o arrastre de cargas, mientras que en el escenario 5, la variable escogida es la realización de horas extras. Sin embargo, la comparación entre ambos escenarios se realizará más adelante en el próximo capítulo.

Tabla 74. Escenarios y precisiones alcanzadas para molestias de codos/antebrazos

Escenario	Nº atributos	Atributos	Clasificador (es)	Precisión
E1	20	Todos los atributos	Varios	86,78 %
E2	11	2 – 3 – 4 – 6 – 11 – 12 – 13 – 15 – 18 – 19 – 20	Varios	86,78 %
E3	2	19 – 20	Varios	86,78 %
E4	1	4	Varios	86,78 %
E5	1	19	Varios	86,78 %

Síntesis de los atributos seleccionados según zona corporal

A manera de resumen, en la Tabla 75 se identifican los diferentes factores seleccionados, principales responsables de las molestias musculoesqueléticas en cada una de las regiones corporales analizadas. Puede notarse que algunos factores como la sobrecarga postural, la repetitividad de movimientos o los antecedentes médicos vinculados a TME, son comunes para diferentes áreas afectadas, mientras que otros factores como la inseguridad, la estima, la realización de actividades domésticas o entrenamiento físico, carecen de importancia para todas las áreas corporales.

Tabla 75. Resumen de atributos seleccionados según zona corporal afectada

Atributo	TME					
	Hombros	Espalda	Manos	Cuello	Piernas	Brazos
1. Sobrecarga postural	✓	✓	✓	✓		
2. Repetitividad de movimientos	✓		✓	✓		
3. Levantamiento de cargas		✓				
4. Empuje o arrastre de cargas		✓				✓
5. Exigencias psicológicas	✓			✓	✓	
6. Trabajo activo y posib de desarrollo						
7. Inseguridad						
8. Apoyo social y calidad de liderazgo		✓				
9. Doble presencia						
10. Estima						
11. Edad						
12. Género			✓			
13. Índice de masa corporal					✓	
14. Hábito de tabaquismo						
15. Antecedentes médicos de TME		✓	✓			

16. Realización de labores domésticas	✓	
17. Realización de entrenamiento físico		
18. Antigüedad en el cargo	✓	
19. Realización de sobretiempo		✓
20. Rotación entre distintos puestos	✓	

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE MODELOS PREDICTIVOS

El presente capítulo está dirigido a presentar los modelos o clasificadores para el análisis predictivo de TME en cada una de las regiones del cuerpo analizadas, lo cual constituye la fase de minería de datos del proceso de extracción de conocimiento a partir de datos. El capítulo se encuentra estructurado en seis partes, una por cada zona corporal: hombros, espalda, manos/muñecas, cuello, piernas/pies y codos/antebrazos; en las que se describe el clasificador utilizado así como las medidas de evaluación más utilizadas para validar los respectivos modelos. Cabe recordar que un modelo se ha definido como la descripción de patrones o relaciones entre los datos, que permiten explicar y comprender eventos ocurridos, y predecir eventos similares futuros, lo que en definitiva constituye nuevo conocimiento.

Modelo para la Predicción de TME en Hombros

Como se presentó en el capítulo anterior, el clasificador que permitió alcanzar la precisión más alta en la predicción de TME en hombros, fue el denominado *FT* (*Functional Trees* o árboles funcionales), perteneciente al grupo de algoritmos basado en árboles de decisión (*Trees*). *FT* son árboles de clasificación que podrían tener funciones de regresión logística en los nodos interiores y/o en las ramas del árbol. Al respecto, Gama (2004) encontró en sus estudios experimentales que usando ramas funcionales, es un método de reducción de varianza, mientras que usando nodos interiores funcionales, es un proceso de reducción de sesgo.

El algoritmo general utilizado para construir un árbol funcional se presenta en el anexo E, donde puede observarse que una función es construida y asignada a nuevos atributos. Cada nuevo atributo es calculado como el valor predicho por la función construida para cada ejemplo; representando este valor la probabilidad que el ejemplo pertenece a una clase dada

por el modelo construido. El mérito de cada nuevo atributo es evaluado utilizando la función de mérito del árbol univariado, en competencia con los atributos originales; por lo que el modelo construido por el algoritmo puede tener dos tipos de nodos de decisión: los basados en una prueba de uno de los atributos originales y los basados en los valores de la función construida. Luego de construido el árbol, se realiza la poda hacia atrás (ver anexo E), a partir de la comparación del error. Este algoritmo de poda genera dos tipos de ramas diferentes: ramas ordinarias que predicen una constante, y ramas construidas que predicen el valor de la función construida en este nodo (Gama, 2004).

Para la corrida del algoritmo (mediante Weka) se definieron ciertos parámetros como lo es el número mínimo de instancias (*minNumInstances*) en que se considera un nodo para dividir, estableciéndose el valor por defecto de 15 instancias. Adicionalmente se optó por la versión completa de *FT*, ya que es posible seleccionar otras dos variantes: un modelo *FT* basado solo en ramas (*FTLeaves*) o solo en nodos internos (*FTInner*).

De esta forma, una vez construido el modelo, la precisión alcanzada por el clasificador *FT* fue de 83,33%, que indica la proporción de instancias clasificadas correctamente. El árbol de clasificación asociado al modelo resultante consta de dos hojas o ramas, como puede observarse en la Figura 46, en donde la clase 0 se ha definido como “trabajador sin molestias” o saludable desde el punto de vista musculoesquelético, mientras que la clase 1 como “trabajador con TME en hombros”. En este caso, el árbol de decisión no presenta funciones de regresión logística asociadas a las ramas. El tiempo requerido por Weka para la construcción del modelo fue de 0,24 segundos.

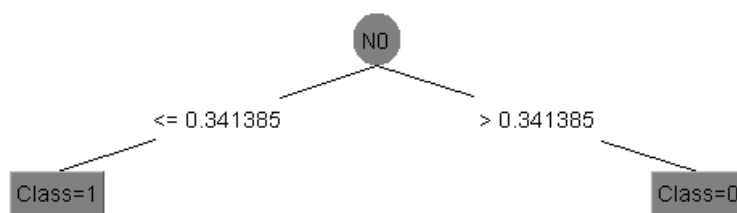


Figura 46. Vista de árbol del modelo clasificador para TME de hombros

Adicionalmente, la función correspondiente al nodo del árbol (N0), cuyo resultado será comparado con los valores referenciales del árbol para la clasificación de la instancia, viene dada por la expresión:

$$4,84 - 0,63 * [Post] - 0,63 * [Rep] - 0,23 * [ExigP] - 0,33 * [AntC]$$

Donde *Post*, *Rep*, *ExiP* y *AntC* corresponde a los valores de las cuatro variables o atributos seleccionados para TME de hombros; es decir, el valor RULA de sobrecarga postural, el índice Check List OCRA de repetitividad, el nivel de riesgo de exigencias psicológicas obtenido por el método CoPsoQ-istas21, y la categoría correspondiente a la antigüedad en el cargo, respectivamente.

De esta forma, si el resultado obtenido en la ecuación anterior es mayor a la constante 0,341385, la predicción es que el trabajador no tendrá molestias en los hombros, y en caso contrario, si el valor es menor o igual a la constante, se espera que el trabajador padezca de molestias en sus hombros.

Puede deducirse a partir de los coeficientes de la fórmula anterior, que los factores relacionados a la sobrecarga postural y la repetitividad presentan la mayor importancia en la clasificación, seguidos de la antigüedad, con una importancia relativa cercana a la mitad de los anteriores, y finalmente las exigencias psicológicas (cuyo peso equivale a aproximadamente un tercio de los primeros).

A pesar de que se seleccionó la versión completa del clasificador *FT*, que incluye tanto nodos internos como ramas funcionales, puede notarse que el resultado final sólo contiene un nodo de decisión, cuya prueba está basada en la combinación lineal de los atributos originales, pero donde los nodos rama realizan la predicción con base en una constante (en este caso 0,341385) y no en una función. De esta forma, el modelo se asemeja a la versión *FTInner*.

Validación del modelo predictivo de TME en hombros

Luego de definir el modelo predictivo es necesario determinar y analizar un conjunto de medidas de evaluación básicas que permitirán analizar su precisión y concordancia, y por consiguiente definir la validez del modelo para su futura utilización en la clasificación de nuevas instancias.

Dentro de estas medidas de evaluación se encuentra en primer lugar la precisión predictiva que indica la proporción de instancias clasificadas correctamente, la cual ha sido fundamental en la selección previa de los atributos relevantes y en la determinación del tipo

de modelo a emplear. En este caso el porcentaje de precisión ha sido de 83,33%, lo que indica que de los 174 casos que conformaron la muestra, 145 han sido clasificados correctamente. En la tabla 76 se adjunta la matriz de confusión que detalla los casos acertados por clase; allí puede observarse que de los 88 trabajadores que manifestaron no sentir molestias, 79 (89,8%) fueron clasificados como tal, mientras que de los 86 trabajadores con TME, 66 (76,7%) fueron clasificados correctamente; estos valores reflejan la sensibilidad o proporción de verdaderos positivos VP (ver Tabla 76).

Tabla 76. Matriz de confusión del clasificador *FT* en TME de hombros

a	B	Clasificados como:
79	9	a = Sin molestia
20	66	b = Con TME

En la Tabla 77 puede apreciarse además la proporción de falsos positivos (FP), de 86 trabajadores que manifestaron TME, 20 (23,3%) fueron clasificados erróneamente en la clase “sin molestia”, mientras que de los 88 trabajadores sin molestias, 9 (10,2%) fueron incluidos en la clase de TME de forma equívoca.

Otras medidas de evaluación adicionales presentadas son: la precisión, la cual resultó más alta (88,0%) en la clase de trabajadores con molestias, y el área ROC (igual para ambos casos) que indica una eficacia diagnóstica buena.

Tabla 77. Medidas de evaluación del clasificador *FT* en TME de hombros

Medida de evaluación	Clase		Peso promedio
	Sin molestias	Con TME	
Proporción VP	0,898	0,767	0,833
Proporción FP	0,233	0,102	0,168
Precisión	0,798	0,880	0,839
Área ROC	0,824	0,824	0,824

Además de la precisión, otra medida de evaluación importante es el índice Kappa que señala la concordancia entre la clasificación real de las instancias y la clasificación realizada por el algoritmo. En este caso, el índice obtenido por el clasificador *FT* fue de 66,61% lo cual refiere una fuerza de concordancia considerable (Landis y Koch, 1977). Por su parte el error absoluto medio se ubicó en 0,1811, el cual resulta aceptable al compararlo con el obtenido por otros modelos probados.

Es importante señalar que las métricas de evaluación antes presentadas fueron medidas utilizando la prueba de validación cruzada (*cross-validation*), con base en una división de la muestra en 10 partes. Aun así, si se emplea la prueba de división porcentual (*percentage split*), destinando 2/3 de la muestra para el entrenamiento y 1/3 para la validación, los valores de precisión, índice Kappa y las métricas particulares para cada clase, mejorar significativamente, alcanzándose una precisión general de 88,14%.

Por tal motivo, el modelo construido para la clasificación predictiva de trabajadores con o sin TME en la región de los hombros, reúne los parámetros de precisión y concordancia adecuados para cumplir su función.

Modelo para la Predicción de TME en Espalda

Al realizar la selección de atributos en el caso de los TME de espalda, fueron identificados cuatro métodos que permiten obtener la máxima precisión (83,33%) con el menor número de variables (5), estos son: *Logistic*, *SimpleLogistic*, *FT* y *LMT*, los dos primeros pertenecientes al grupo de los algoritmos basados en regresión logística (funciones) y los dos últimos basados en árboles de decisión. Por lo tanto, para escoger el clasificador más adecuado entre ellos, se tomaron en consideración otros indicadores como el índice Kappa y el error medio absoluto (ver Tabla 78); siendo el clasificador *Logistic* el que reúne los mejores valores: mayor precisión, mayor índice Kappa y menor error.

Tabla 78. Indicadores de los clasificadores preseleccionados para TME de espalda

Clasificador	Precisión	Índice Kappa	Error medio absoluto
<i>Logistic</i>	83,33%	66,49%	25,81%
<i>SimpleLogistic</i>	83,33%	66,40%	27,62%
<i>FT</i>	83,33%	66,49%	26,45%
<i>LMT</i>	83,33%	66,40%	27,62%

El clasificador *Logistic* se basa en el uso de un modelo de regresión logística. La regresión logística binomial o binaria, en general, predice la ocurrencia de una variable dependiente cualitativa, dicotómica (en este caso, presencia o ausencia de TME en espalda), a partir de una o más variables explicativas independientes o covariables. Los modelos de regresión logística permiten cuantificar la importancia de la relación existente entre cada una de las

covariables y la variable dependiente, y clasificar individuos dentro de las categorías presente/ausente de la variable dependiente (Hosmer, Lemeshow y Sturdivant, 2013).

El clasificador *Logistic* incluido en Weka se fundamenta en los trabajos realizados por le Cessie y van Houwelingen (1992) quienes plantearon el uso de estimadores cresta combinados con regresión logística para mejorar el modelo, en especial en situaciones donde el número de covariables es relativamente grande o cuando éstas se hallan altamente correlacionadas.

El modelo generado a través de la herramienta Weka viene dado por los coeficientes que se presentan en la Tabla 79, definidos para la salida “trabajador sin molestias”. Además se presentan los “*odds ratio*” de cada variable, que cuantifican cuanto más probable es la aparición de TME de espalda cuando se pasa de un valor del factor a otro, permaneciendo constantes el resto de las variables. Para la construcción del modelo, Weka requirió un tiempo de 0,09 segundos.

Tabla 79. Coeficientes y *odds ratio* del clasificador *Logistic* para TME de espalda

Variable	Clase “Sin molestias”	
	Coeficientes	Odds ratio
Post	-1,1713	0,3100
Lev	-1,7600	0,1720
Emp	-4,3087	0,0135
ApoS	-0,6384	0,5281
AntM	-2,7260	0,0655
Intercepción	12,2482	

Donde *Post*, *Lev*, *Emp*, *ApoS* y *AntM* representan los valores de las cinco variables explicativas seleccionados para TME de espalda; en otras palabras, el valor RULA de sobrecarga postural, el índice NIOSH de levantamiento de cargas, el índice ERGO de empujes o arrastres de cargas, el nivel de riesgo relacionado al apoyo social y calidad de liderazgo obtenido por el método CoPsoQ-istas21, y la existencia de antecedentes médicos relacionados a TME, respectivamente.

De esta forma, la expresión de la función logística asociada al modelo obtenido, viene dada por:

$$P(Y = Sano) = \frac{1}{1 + e^{-(12,248 - 1,171*[Post] - 1,76*[Lev] - 4,309*[Emp] - 0,638*[ApoS] - 2,726*[AntM])}}$$

Donde $P(Y)$ representa la probabilidad de que un trabajador sea clasificado como un trabajador sin molestias musculoesqueléticas en la espalda. Así, en la medida que la probabilidad se aproxime a 1 (o en su defecto mayor a 0,5) indicará la inexistencia de molestias, mientras que una probabilidad próxima a 0 (menor a 0,5) indicará la existencia de TME en la espalda.

Revisando los coeficientes de cada factor, puede deducirse que los empujes o arrastres de cargas representan el factor más determinante en la predicción de los TME de espalda, seguido por los antecedentes médicos, con peso relativo cercano a las 2/3 partes del anterior. De los cinco factores incluidos en el modelo, el relacionado al apoyo social constituye el de menos importancia relativa.

Validación del modelo predictivo de TME en espalda

Como ya se ha mencionado, el modelo generado para predecir las molestias musculoesqueléticas en la región de la espalda, presentó una precisión de 83,33%; esto es un acierto de 145 casos, de los 174 que conformaron la muestra. Adicionalmente presentó un índice Kappa de 66,49%, correspondiente a una fuerza de concordancia considerable y un error medio absoluto de 25,81%.

La matriz de confusión correspondiente al modelo *Logistic*, empleando la prueba de validación cruzada, se presenta en la Tabla 80, donde se aprecia que de los 92 trabajadores sin molestias, 79 (85,9%) fueron clasificados correctamente, entre tanto, 66 (80,5%) trabajadores con molestias se clasificaron correctamente, de un total de 82.

Tabla 80. Matriz de confusión del clasificador *Logistic* en TME de espalda

a	b	Clasificados como:
79	13	a = Sin molestia
16	66	b = Con TME

En la Tabla 81 se adjunta por cada clase, algunas medidas de evaluación complementarias tales como la proporción de verdaderos positivos, la proporción de falsos positivos, la precisión particular y el área ROC; presentándose en términos generales un mejor registro en la clase de trabajadores con TME.

Tabla 81. Medidas de evaluación del clasificador *Logistic* en TME de espalda

Medida de evaluación	Clase		Peso promedio
	Sin molestias	Con TME	
Proporción VP	0,859	0,805	0,833
Proporción FP	0,195	0,141	0,170
Precisión	0,832	0,835	0,833
Área ROC	0,874	0,874	0,874

De esta forma, partiendo de las medidas de evaluación mostradas anteriormente, el modelo construido para la predicción de TME en la zona de la espalda, posee niveles de precisión y concordancia apropiados para cumplir el objetivo previsto.

Modelo para la Predicción de TME en Manos y Muñecas

El clasificador que permitió alcanzar la mayor precisión de predicción en TME de manos y muñecas (83,91%), con la menor cantidad de atributos (6), fue el *Functional Trees (FT)*, perteneciente a los árboles de decisión. El subconjunto de seis factores se obtuvo empleando el método de selección *ConsistencySubsetEval* y el algoritmo de búsqueda *GeneticSearch*; estos factores son: sobrecarga postural (*Post*), repetitividad de movimientos (*Rep*), género (*Gen*), antecedentes médicos relacionados a TME (*AntM*), frecuencia de realización de labores domésticas en el hogar (*LabD*) y rotación entre puestos de trabajo (*Rot*).

El árbol de clasificación asociado al modelo resultante consta de dos hojas, según se muestra en la Figura 47; y donde, dependiendo de la rama del árbol, se presenta una función logística asociada, la cual permitirá realizar la clasificación de la instancia.

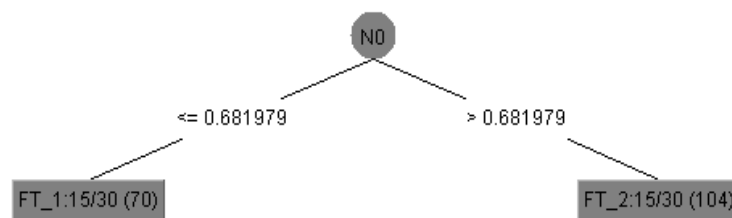


Figura 47. Vista de árbol del modelo clasificador para TME de manos/muñecas

La función correspondiente al nodo del árbol (N0), viene dada por la expresión:

$$5,50 - 0,44 * [Post] - 0,83 * [Rep] - 1 * [Gen] - 0,84 * [AntM] - 0,19 * [LabD] + 0,24 * [Rot]$$

El resultado aquí obtenido será comparado con los valores referenciales del árbol para conocer la función logística a utilizar, de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$FT_1 = 5,71 - 0,46 * [Post] - 0,83 * [Rep] - 1,40 * [Gen] - 0,96 * [AntM] - 0,16 * [LabD] + 0,32[Rot]$$

$$FT_2 = 6,24 + 0,39 * [Post] - 0,83 * [Rep] - 1,36 * [Gen] + 0 * [AntM] - 0,72 * [LabD] - 2,01[Rot]$$

Luego, si el valor de probabilidad resultante se aproxima a 1 (mayor a 0,5), refiere a la categoría “trabajador sin molestias”, y si se aproxima a 0 (menor a 0,5), la categoría seleccionada es “trabajador con TME en manos y muñecas”. El tiempo requerido por Weka para la construcción del modelo fue de 0,16 segundos.

A diferencia del modelo obtenido para los TME de hombros, el modelo aquí presentado sí incluye funciones lineales tanto en el nodo de decisión interno, como en las ramas; en otras palabras, la prueba usada por el nodo de decisión interno está basada en la combinación lineal de los atributos originales, y los nodos rama predicen los valores mediante una función de regresión lineal construida por los casos que decantaron por ese nodo. De esta forma, el modelo predictivo de TME de manos/muñeca corresponde a la definición de árbol funcional completo.

Validación del modelo predictivo de TME en manos y muñecas

El modelo de predicción de TME de manos y muñecas generado reportó una precisión de 83,91%, como ya se mencionó, esto es, 146 de las 174 instancias clasificadas correctamente. Este valor es alcanzado empleando el método de validación cruzada (*Cross-validation*) dividiendo la muestra en diez partes ($k=10$); mientras que al emplear el método de validación simple (*Percentage split*) dividiendo la muestra en 2/3 para el entrenamiento y 1/3 para validación se logra una precisión de 84,75%, similar al anterior.

Con relación a la concordancia del modelo, se obtuvo un índice Kappa de 63,14% con el método de validación cruzada, y de 68,67% si se emplea la validación simple. Ambos valores refieren una fuerza de concordancia considerable (Landis y Koch, 1977). Por su

parte el error absoluto medio se ubicó en 0,2002, el cual resulta aceptable al compararlo con el obtenido por otros modelos probados.

Continuando con la validación cruzada, se obtuvo la matriz de confusión que se presenta en la Tabla 82; allí se visualiza que de los 119 trabajadores que no manifestaron molestias de manos y muñecas, 104 (87,4%) fueron clasificados correctamente por el modelo; entre tanto, 42 (76,4%) de los 55 trabajadores con molestias fueron clasificados de forma precisa.

Tabla 82. Matriz de confusión del clasificador *FT* en TME de manos/muñecas

a	b	Clasificados como:
104	15	a = Sin molestia
13	42	b = Con TME

En promedio, se obtuvo una proporción de verdaderos positivos (VP) de 83,9% y de falsos positivos (FP) de 20,1% (ver Tabla 83); así como un área ROC de 87,2%, asociado a una eficacia diagnóstica buena. La categoría de trabajadores “sin molestias” presentó una precisión mayor (88,9%) que la categoría “con TME” (73,7%), lo que indica que el modelo clasifica con mayor acierto a las instancias pertenecientes a la primera categoría, que representa la clase mayoritaria.

Tabla 83. Medidas de evaluación del clasificador *FT* en TME de manos/muñecas

Medida de evaluación	Clase		Peso promedio
	Sin molestias	Con TME	
Proporción VP	0,874	0,764	0,839
Proporción FP	0,236	0,126	0,201
Precisión	0,889	0,737	0,841
Área ROC	0,872	0,872	0,872

De esta forma, el modelo construido para la detección de TME en la región de las manos y muñecas presenta parámetros de precisión y concordancia adecuados para cumplir su función.

Modelo para la Predicción de TME en Cuello

En la fase de selección de atributos fueron identificados dos tipos de clasificadores como aquellos que permitieron alcanzar el nivel de precisión máximo: el primero es el *DTNB* (*Decision Table / Naive Bayes*), el cual es un clasificador híbrido basado en tabla de

decisiones y teorema de bayes, incluido por Weka dentro de los algoritmos tipo reglas; y el segundo es el *LMT* (*Logistic Model Trees*), que representa un tipo de modelo de árboles de decisión con funciones de regresión logística en sus hojas, muy similar al *FT* empleado anteriormente. Ambos modelos se basan en un subconjunto formado por tres variables: sobrecarga postural [Post], repetitividad de movimientos [Rep] y exigencias psicológicas [ExiP].

Como el valor de precisión alcanzado por ambos modelos fue igual (90,23%), se consideraron otros indicadores que permitieran seleccionar el modelo más adecuado tales como el índice Kappa y el error medio absoluto, según se muestra en la Tabla 84. De esta manera, por ser *LMT* el clasificador que reúne los parámetros más idóneos, éste será el seleccionado para representar los TME de cuello.

Tabla 84. Indicadores de los clasificadores preseleccionados para TME de cuello

Clasificador	Precisión	Índice Kappa	Error medio absoluto
<i>DTNB</i>	90,23%	74,52%	20,71%
<i>LMT</i>	90,23%	74,52%	18,33%

El modelo LMT se basa en los trabajos presentados por Landwehr, Hall y Frank (2005), quienes plantearon la combinación de modelos de regresión logística lineal con estructura de árboles de decisión, aprovechando las ventajas complementarias de ambos; lo que lo convierte en un modelo análogo a los árboles funcionales o árboles modelo; similarmente, consiste de una estructura de árbol conformada por nodos interiores o no terminales y ramas o nodos terminales.

No obstante, estos autores presentan un nuevo esquema para la selección de los atributos a ser incluidos en los modelos de regresión logística, y presentan una forma de construir los modelos logísticos en las ramas, refinando los modelos logísticos que han sido entrenados en los niveles superiores del árbol. A diferencia de otros modelos de árbol, en donde los modelos de regresión logística se construyen de forma aislada sobre los casos de entrenamiento local en el nodo, sin tener en cuenta la estructura circundante; en el nuevo enfoque planteado, se van refinando gradualmente los modelos logísticos ya ajustados en los niveles superiores en el árbol. En el anexo F se incluye el pseudocódigo para este algoritmo *LMT*.

De esta forma, el modelo de árbol logístico generado para la predicción de TME de cuello se representa gráficamente según la Figura 48, el cual consta de dos ramas, y en cuyas vertientes se encuentra funciones logísticas que permite clasificar cada instancia en: sin molestia en el cuello o con TME en el cuello.

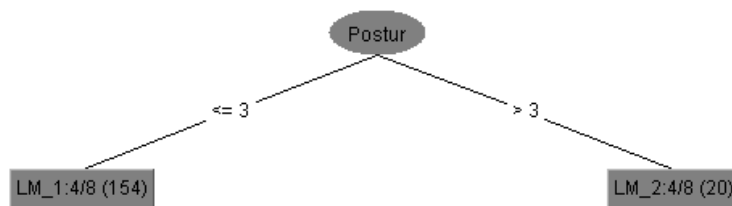


Figura 48. Vista de árbol del modelo clasificador para TME de cuello

Como se puede apreciar en el nodo del árbol, el puntaje RULA obtenido para evaluar la sobrecarga postural marca la función logística a usar: LM_1 o LM_2 , las cuales se detallan a continuación:

$$LM_1 = 4,18 - 0,61 * [Post] - 0,26 * [Rep] - 0,68 * [ExiP]$$

$$LM_2 = 1,69 - 0,87 * [Post] - 0,16 * [Rep] - 0,42 * [ExiP]$$

En ambos casos, un valor resultante próximo a 1 (probabilidad mayor a 0,5) clasifica la instancia como “sin molestia en cuello”. Cabe reseñar que Weka requirió un tiempo de 0,39 segundos para su construcción.

Validación del modelo predictivo de TME en cuello

Mediante la técnica de validación cruzada, dividiendo la muestra en 10 partes, el modelo de árbol logístico construido para la detección de TME de cuello, reflejó las medidas de evaluación ya señaladas en la Tabla 94, es decir, una precisión del modelo de 90,23%, un valor Kappa de 74,52%, indicativo de una fuerza de concordancia considerable, y un error medio absoluto de 18,33%.

Adicionalmente, la matriz de confusión (ver Tabla 85) expresa que de los 123 trabajadores que manifestaron no sentir molestias de cuello (Clase a), 121 (98,4%) fueron clasificados correctamente; mientras que en el caso de los 51 trabajadores con molestia de cuello, 36 (70,6%) fueron clasificados como tal. Dicho de forma inversa, el modelo clasificó con

molestias a 2 trabajadores realmente sanos, y clasificó como sanos a 15 trabajadores que manifestaron algún tipo de afección en su cuello.

Tabla 85. Matriz de confusión del clasificador *LMT* en TME de cuello

a	B	Clasificados como:
121	2	a = Sin molestia
15	36	b = Con TME

La información antes mencionada se puede detallar en la Tabla 86, donde se indican los porcentajes de verdaderos positivos, de falsos positivos, precisión y área ROC para cada clase considerada. Resalta que aun cuando la mayor proporción de verdaderos positivos (VP) fue lograda en la clase “sin molestias”, la precisión más alta (94,7%) se logró en la clase b (trabajadores con TME de cuello), ya que el modelo diagnosticó 38 casos de instancias con molestias, de las cuales 36 eran ciertas. El área ROC refleja una eficacia diagnóstica buena, al promediar 87,2%.

Tabla 86. Medidas de evaluación del clasificador *LMT* en TME de cuello

Medida de evaluación	Clase		Peso promedio
	Sin molestias	Con TME	
Proporción VP	0,984	0,706	0,902
Proporción FP	0,294	0,016	0,213
Precisión	0,890	0,947	0,841
Área ROC	0,872	0,872	0,872

Debido a los valores de precisión y concordancia hallados a partir del modelo generado, puede señalarse que el clasificador de TME de cuello puede ser utilizado para los fines planteados.

Modelo para la Predicción de TME en Piernas y Pies

En el caso de los TME de piernas y pies, se identificaron que en escenario formado por 2 atributos, y con los clasificadores *SimpleLogistic* y *RandomTree* se logra la mayor precisión de acierto, calculada en 79,89%. Por lo tanto, siguiendo el procedimiento empleado en

casos anteriores de empate, se recurre a la comparación de otras medidas de evaluación tales como el índice Kappa y el error medio absoluto (ver Tabla 87).

A simple vista, el clasificador tipo árbol *RandomTree* ofrece comparativamente la mejor opción, sin embargo, llama la atención que los valores Kappa son muy bajos para ambos casos, lo que indica una fuerza de concordancia leve (Landis y Koch, 1977).

Tabla 87. Indicadores de los clasificadores preseleccionados para TME de piernas

Clasificador	Precisión	Índice Kappa	Error medio absoluto
<i>SimpleLogistic</i>	79,89%	15,06%	31,53%
<i>RandomTree</i>	79,89%	15,06%	29,23%

Al revisar la matriz de confusión (Tabla 88) se evidencia igualmente la pobre capacidad del modelo para discriminar entre ambas clases. De hecho solo fueron identificadas 4 instancias en la categoría b (con molestias), de las 39 existentes, mostrándose una tendencia a clasificar todas las instancias como trabajadores sanos.

Tabla 88. Matriz de confusión del clasificador *RandomTree* en TME de piernas

A	b	Clasificados como:
135	0	a = Sin molestia
35	4	b = Con TME

Así mismo, en la Tabla 89 se observan otras medidas de evaluación discriminadas por clase, donde resalta la baja proporción (10,3%) de verdaderos positivos (VP) en la clase “con TME”, a la vez de una alta proporción (89,7%) de falsos positivos (FP) en la clase “sin molestias”. Por su parte, el área ROC arrojó un valor de 69,7%, lo cual es indicativo de una pobre capacidad diagnóstica de la prueba.

Dentro de las posibles causas que pudieron originar estos resultados se pueden mencionar: la escasa proporción de trabajadores que manifestaron molestias en esa región del cuerpo (22,4%) y la falta de inclusión de otras variables relevantes para este tipo de TME.

Tabla 89. Medidas de evaluación del clasificador *RandomTree* en TME de piernas

Medida de evaluación	Clase		Peso promedio
	Sin molestias	Con TME	
Proporción VP	1	0,103	0,799
Proporción FP	0,897	0	0,696

Precisión	0,794	1	0,840
Área ROC	0,691	0,691	0,691

De esta manera, el clasificador de TME de piernas y pies no reúne los parámetros mínimos de precisión y concordancia, por lo que se descarta su utilización.

Modelo para la Predicción de TME en Codos y Antebrazos

El análisis realizado en la fase de selección de atributos relevantes, relacionados a TME de codos y antebrazos, condujo a la identificación de dos escenarios que permiten obtener la mayor precisión (86,78%) con menor cantidad de variables.

No obstante, aun cuando varios clasificadores de diferente tipo (bayesianos, funciones, reglas y árboles de decisión) permitieron alcanzar tal porcentaje, ninguno de ellos reportó un índice Kappa mayor a 10%, lo que significa que la fuerza de concordancia es pobre o inexistente. Así mismo los niveles de área ROC refieren una eficacia diagnóstica mala, ya que no supera el 60% en el mejor de los casos. Igualmente, las distintas matrices de confusión generadas para los clasificadores analizados, dan cuenta de la incapacidad del método para discriminar entre sujetos sanos y aquellos con molestias musculoesqueléticas.

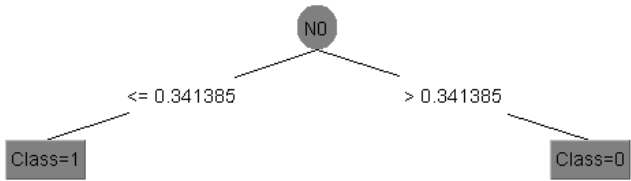
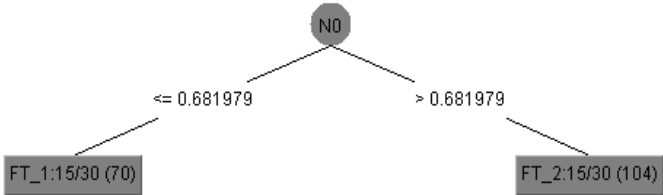
Por estas razones, se descarta la construcción y utilización de un modelo destinado a la detección de TME en codos y antebrazos.

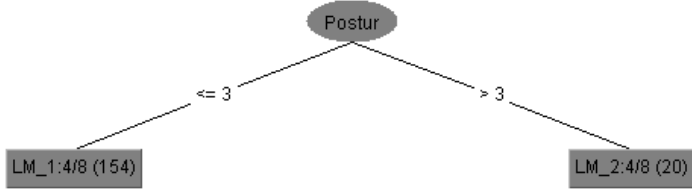
Al igual que en el caso anterior (piernas/pies), se especula que la escasa proporción de trabajadores que manifestaron molestias en esa región del cuerpo (13,2%) y la ausencia de otras variables explicativas de este tipo de TME, pudieran representar las razones más importantes por las cuales los diferentes clasificadores probados, no lograron los niveles de precisión y concordancia adecuados.

Síntesis de los Modelos Generados según Zona Corporal

En la Tabla 90 se resumen los distintos modelos construidos y validados para cada región del cuerpo evaluada, donde se refleja el tipo de clasificador, el modelo construido y los principales indicadores de validación.

Tabla 90. Resumen de modelos generados según zona corporal

Zona del cuerpo	Modelo
Hombros	<i>Functional Tree:</i>  $NO: 4,84 - 0,63[Post] - 0,63[Rep] - 0,23[ExigP] - 0,33[AntC]$ Class=1: TME ; Class=0: Sin molestias Precisión: 83,3%; Índice kappa: 66,6%; ROC: 82,4%
Espalda	<i>Logistic:</i> $P = \frac{1}{1 + e^{-(12,25 - 1,17[Post] - 1,76[Lev] - 4,31[Emp] - 0,64[ApoS] - 2,73[AntM])}}$ P < 0,5: TME ; P ≥ 0,5: Sin molestias Precisión: 83,3%; Índice kappa: 66,5%; ROC: 87,4%
Manos/muñecas	<i>Functional Tree:</i>  $NO: 5,50 - 0,44[Post] - 0,83[Rep] - [Gen] - 0,84[AntM] - 0,19[LabD] + 0,24[Rot]$ $FT_1 = 5,71 - 0,46[Post] - 0,83[Rep] - 1,40[Gen] - 0,96[AntM] - 0,16[LabD] + 0,32[Rot]$ $FT_2 = 6,24 + 0,39[Post] - 0,83[Rep] - 1,36[Gen] - 0,72[LabD] - 2,01[Rot]$ FT < 0,5: TME ; FT ≥ 0,5: Sin molestias Precisión: 83,9%; Índice kappa: 63,1%; ROC: 87,2%

Zona del cuerpo	Modelo
Cuello	<i>Logistic Model Tree:</i>  $LM_1 = 4,18 - 0,61[Post] - 0,26[Rep] - 0,68[ExiP]$ $LM_2 = 1,69 - 0,87[Post] - 0,16[Rep] - 0,42[ExiP]$ LM < 0,5: TME ; LM ≥ 0,5: Sin molestias Precisión: 90,2%; Índice kappa: 74,5%; ROC: 87,2%

Los modelos predictivos presentados constituyen una forma de pronosticar si un trabajador podría padecer molestias musculoesqueléticas, a partir de la consideración de sus causantes más significativas, ofreciendo de esta manera una mejor aproximación, que si se considerara sólo una variable explicativa. Más aun, estos modelos no solo logran vincular diferentes variables de diversa naturaleza, sino que además al establecerse las relaciones matemáticas respectivas, se logra asignar un peso o ponderación particular a cada variable, según su importancia relativa, corrigiendo las asignaciones lineales simplistas de algunos métodos que consideran un puntaje igual para cada factor.

Los modelos tienen su basamento en variables de uso común en el sector industrial estudiado, ya que durante la realización del estudio, se pudo evidenciar que en las empresas consideradas, se han realizado en el pasado evaluaciones de sobrecarga postural, repetitividad, manipulación de cargas y hasta factores psicosociales, lo que demuestra que en varias de estas empresas se tiene personal capacitado para aplicar e interpretar tales evaluaciones; lo que posiblemente se ha incentivado a partir de la aprobación de la actual

LOPCYMAT. Este aspecto representa una importante ventaja al momento de utilizar los modelos desarrollados.

Por otro lado, los modelos propuestos, aun cuando constituyen expresiones matemáticas, su aplicabilidad puede simplificarse a la configuración y uso de una hoja de cálculo en la cual se introduzcan los datos requeridos de las variables relevantes seleccionadas, y automáticamente obtener los resultados sobre cual o cuales partes del cuerpo son susceptibles de afecciones musculoesqueléticas. Desde el punto de vista empresarial, conocer estos resultados puede contribuir de manera determinante en la prevención de TME, actuando directamente en los factores causantes más importantes, bien sea mediante el rediseño de la tarea (controles de ingeniería) o a través de la reducción de los tiempos de exposición de los trabajadores más vulnerables (controles administrativos).

Desde el punto de vista académico y específicamente, a nivel de investigación, el desarrollo de estos modelos representa una línea novedosa, al vincular un área aun en desarrollo como lo es la ergonomía, con herramientas del modelaje y el reconocimiento de patrones a partir de datos, como la ofrecida por la minería de datos. La metodología aquí seguida no solo puede replicarse en otros sectores laborales, sino inclusive puede servir de referencia para establecer relaciones de otros fenómenos o problemas, y sus variables explicativas más relevantes.

Como una manera de facilitar la aplicabilidad de los modelos obtenidos por parte de analistas de una empresa, a continuación se describe el uso de una hoja de cálculo construida para el procesamiento de los datos.

Prototipo de Aplicación

La hoja de cálculo preparada permite realizar las operaciones matemáticas referentes a los modelos propuestos de una manera automática, oculta para el usuario, arrojando directamente los resultados de predicción según cada parte del cuerpo susceptible de TME. De esta manera, se plantea que la hoja de cálculo sea utilizada como una herramienta de interfaz gráfica, conformada por tres partes: entrada de datos, cálculos y predicción.

La entrada de datos se divide a su vez en dos partes: los datos generales y las variables de entrada propiamente dichas. Los datos generales incluyen la identificación del trabajador

analizado, su puesto de trabajo, la identificación del analista y la fecha del análisis para tener el registro de su vigencia. Las variables de entrada se encuentran agrupadas según su clase en: individuales, físicas y psicosociales; y sólo se listan aquellas variables relevantes asociadas con los TME de hombros, espalda, manos/muñecas y cuello, de acuerdo a los modelos construidos y validados (Ver Figura 49).

Datos generales:		Trabajador:	_____
		Puesto de trabajo:	_____
		Analista	_____
		Fecha:	_____
Variables individuales:	Género del trabajador:		Femenino
	Antecedentes médicos relacionados con TME:		No tiene
	Realización de labores domésticas:		A veces
	Antigüedad en el cargo:		5-7 años
	Rotación entre distintos puestos de trabajo:		No rota
Variables físicas:	Nivel de actuación del método RULA de la postura más adversa:		4
	Nivel de riesgo de repetitividad según método Checklist OCRA:		Muy ligero
	Nivel de riesgo por levantamiento de cargas según NIOSH:		Moderado
	Nivel de riesgo por empuje/arrastre de cargas según ERGO/IBV:		Aceptable
Variables psicosociales:	Nivel de exposición por exigencias psicológicas según ISTAS21:		Intermedio
	Nivel de exposición por apoyo social y calidad de liderazgo según ISTAS21:		Favorable

Figura 49. Entrada de datos del modelo predictivo de TME

Las variables individuales incluyen: el género del trabajador, los antecedentes médicos relacionados con TME, la frecuencia de realización de labores domésticas, la antigüedad en el cargo, y si el trabajador rota entre distintos puestos de trabajo. Las variables físicas abarcan: el nivel de actuación por sobrecarga postural obtenido por el método RULA, el nivel de riesgo de repetitividad obtenido por el método OCRA, el nivel de riesgo por levantamiento de cargas según la ecuación de NIOSH y el nivel de riesgo por concepto de

empujes o arrastres de cargas de acuerdo al método ERGO. Finalmente las variables psicosociales contemplan: el nivel de exposición por exigencias psicológicas y por apoyo social, ambos obtenidos por el método ISTAS21. En la interfaz todas estas variables de entrada se seleccionan de acuerdo a una lista desplegable de las posibles opciones, tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 50. Luego, la alternativa seleccionada en cada variable, es convertida en un valor numérico para ser usado en las operaciones matemáticas.

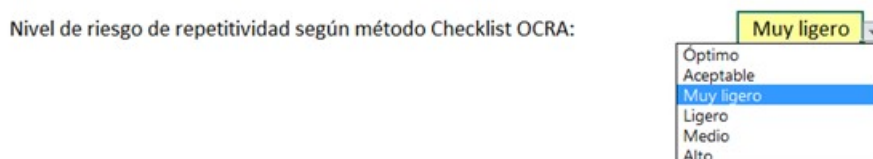


Figura 50. Lista desplegable de alternativas para el nivel de riesgo por repetitividad

Con relación a los cálculos, estos se presentan en celdas ocultas para el usuario, y con protección para evitar modificaciones involuntarias en las expresiones matemáticas. Estos cálculos están relacionados con las operaciones propias de cada modelo, según las variables relevantes respectivas de cada caso. En los modelos tipo árbol (hombros, manos/muñecas y cuello) se trata de combinaciones lineales de las variables, bien sea en sus nodos o en sus ramas, mientras que en el modelo tipo función (espalda) se trata de un cálculo de regresión logística; por lo que, en general, se trata de operaciones matemáticas simples. La hoja de cálculo realiza las operaciones de todos los modelos simultáneamente, tomando las variables particulares requeridas por cada uno de ellos.

Finalmente, la predicción es realizada mediante operaciones lógicas de comparación, de acuerdo a lo estipulado en cada modelo, indicando de esta manera, si un trabajador es vulnerable a padecer TME en las respectivas zonas corporales consideradas. En la Figura 51 se muestra un ejemplo de los resultados que se pueden obtener una vez introducidas las distintas variables de entrada, a través de la hoja de cálculo.

De acuerdo a la información suministrada, se espera que el trabajador:
1. Presente TME en los hombros
2. No presente molestias en la espalda
3. No presente molestias en las manos y muñecas
4. No presente molestias en el cuello

Figura 51. Vista de resultados de la hoja de cálculo

CONCLUSIONES

Se determinó una prevalencia de molestias musculoesqueléticas de 77% en la muestra de trabajadores considerada para la investigación, ratificando la importancia que tiene ésta enfermedad ocupacional para la industria cárnica y para el sector industrial en general, y reflejando la necesidad de una intervención preventiva. Dentro de las zonas del cuerpo más comunes donde se produce la molestia musculoesquelética resaltan los hombros con una prevalencia de 49,4%, la espalda con 47,1%, las manos y muñecas con 31,6% y el cuello con 29,3%.

Para caracterizar al sector industrial analizado se consideraron los principales factores de riesgo biomecánico, psicosocial e individual a los cuales se encuentran expuestos los trabajadores, y que pudieran vincularse a la prevalencia de TME, desde un enfoque etiológico multifactorial, tal como lo sugiere la literatura consultada. Los factores biomecánicos evaluados incluyen: la sobrecarga postural del trabajador, la repetitividad de movimientos, el levantamiento de cargas y el empuje o arrastre de cargas pesadas, asociados tradicionalmente con la enfermedad. Desde la perspectiva psicosocial, incluido el aspecto organizacional, se examinaron: las exigencias psicológicas, el trabajo activo y posibilidades de desarrollo, la inseguridad, el apoyo social y calidad de liderazgo, la doble presencia (laboral y familiar) y la estima. Desde el ángulo individual o personal se consideraron algunos aspectos relacionados al perfil sociodemográfico, antropométrico y laboral del trabajador: la edad, el género, el índice de masa corporal, el hábito de fumar, los antecedentes médicos, hábitos de actividad física, antigüedad en el cargo, realización de

sobretiempo y la rotación en el trabajo; si bien estos factores no constituyen un riesgo en sí, podrían favorecer la enfermedad.

En términos generales se encontró que el 48,9% de los trabajadores realizan actividades laborales que implican un nivel de riesgo alto y muy alto por sobrecarga postural (nivel 3 y 4 del método RULA, respectivamente), y sólo el 6,3% de la muestra adopta posturas aceptables en su trabajo. El 37,3% de los trabajadores se exponen a niveles de riesgo por repetitividad de movimientos de medio a alto (niveles 4, 5 y 6 del método OCRA), mientras que el 35% reportó niveles aceptables. En cuanto al levantamiento de cargas solo el 7,5% de los trabajadores se ubicaron en un nivel de riesgo inaceptable (nivel 3 de la ecuación revisada de NIOSH) y el 33,3% en riesgo medio; mientras que en el caso empujes o arrastres de cargas sólo el 2,9% resultó en un nivel inaceptable (nivel 3 del método ERGO/IBV), ubicándose la mayoría de trabajadores (84,5%) en un nivel aceptable. Los bajos porcentajes de riesgos inaceptables obtenidos en los factores relacionados a la manipulación de cargas, no necesariamente se debe a que el trabajo se realiza de forma adecuada sino que viene dado por la baja tasa de trabajadores que realizan manipulación de cargas en sus labores cotidianas.

En cuanto al ámbito psicosocial, resaltan los factores de inseguridad y estima con la mayor proporción de casos desfavorables (nivel 3 del método CoPsoQ-istas21), con 85,6% y 61,5%, respectivamente; la inseguridad, referida no sólo a la inseguridad contractual sino a la inseguridad relacionada con las condiciones de trabajo, y la estima referida al respeto y reconocimiento de los superiores por el esfuerzo realizado. Las exigencias psicológicas y el apoyo social y calidad de liderazgo fueron las dimensiones percibidas por los trabajadores encuestados como más favorables, cuantificando un 69,5% y 59,2%, respectivamente.

Con el propósito de simplificar el modelo predictivo, se identificaron los factores de riesgo relevantes asociados a las molestias musculoesqueléticas de cada región del cuerpo; lo cual se llevó a cabo mediante dos métodos de minería de datos (*CfsSubsetEval* y *ConsistencySubsetEval*) disponibles en Weka, basadas en correlaciones y consistencias, respectivamente; en combinación con diferentes estrategias de búsquedas. Este tipo de métodos permite operar sobre los factores originales evaluados, por lo que el conocimiento que se genere a partir de los algoritmos de aprendizaje puede ser interpretado en términos

de las variables originales y no en términos de un espacio transformado. El método *ConsistencySubsetEval* permitió obtener los conjuntos de factores que mayor relevancia ofrecieron sobre los TME de las distintas zonas corporales.

En los TME de hombros se identificaron la sobrecarga postural, la repetitividad de movimientos, las exigencias psicológicas y la antigüedad en el cargo como los factores que demostraron una mayor capacidad predictiva. En los TME de espalda se seleccionaron la sobrecarga postural, el levantamiento de cargas, el empuje o arrastre de cargas, el apoyo social y calidad de liderazgo y los antecedentes médicos. La mejor combinación de atributos relacionada con TME de manos y muñecas estuvo dada por la sobrecarga postural, la repetitividad de movimientos, el género, los antecedentes médicos, la realización de labores domésticas y la rotación en el trabajo. En el caso del cuello sobresalieron la sobrecarga postural, la repetitividad de movimientos y las exigencias psicológicas. Resalta que el factor relacionado a la sobrecarga postural figura como una variable relevante en la predicción de los TME de las cuatro regiones corporales señaladas. Se confirma además que la integración de factores de diferente naturaleza (biomecánico, psicosocial e individual) ofrece la mejor opción para la detección de TME.

La determinación del tipo de modelo o clasificador a utilizar para la predicción de los TME de cada zona corporal, obedeció a la comparación de las precisiones alcanzadas entre un conjunto de modelos probados (bayesianos, regresión logística, redes neuronales, reglas de decisión y árboles de decisión), a partir de los datos del estudio y de los factores seleccionados. De esta forma, para la predicción de molestias en la región de los hombros y de las manos/muñecas, un modelo de tipo árbol funcional (*Functional Tree*) permitió obtener la mayor precisión, con un valor de 83,3% y 83,9%, respectivamente. En el caso de los TME de espalda, el modelo que ofreció la mayor proporción de instancias clasificadas correctamente (83,3%) fue el denominado *Logistic*, basado en regresión logística. Para predecir los TME de cuello, el clasificador *Logistic Model Tree* reportó la precisión más alta (90,2%); este tipo de modelo combina las ventajas de la regresión logística y del árbol de decisión, muy similar al *Functional Tree*.

La validación de los modelos construidos fue realizada en función de un conjunto de pruebas o medidas de evaluación, entre las que destacan: la precisión, el índice Kappa, el

análisis de la matriz de confusión y el análisis ROC. A excepción de la región de los codos/antebrazos y las piernas/pies, en las cuales no fue posible obtener un modelo válido para la predicción de TME, los cuatro modelos restantes (hombros, espalda, manos/muñecas y cuello) ofrecieron valores de precisión, concordancia y eficacia diagnóstica buenos, lo que permite recomendar su uso para la clasificación de nuevos casos, en función de si se presentará o no el TME respectivo.

La investigación realizada permitió demostrar claramente la capacidad de las técnicas de minería de datos para abordar y resolver problemas industriales, específicamente relacionados con el diagnóstico de enfermedades ocupacionales como la que aquí se presenta; además de evidenciar la capacidad para tratar grandes conjuntos de datos y de variables.

Los hallazgos encontrados permitieron demostrar el carácter multicausal de los trastornos musculoesquelético, en donde la combinación de factores de tipo físico, psicosocial y personal, ofrecen una mejor predicción que los ofrecidos por un solo tipo de factor de riesgo. Además se resalta el hecho de que cada tipo de molestia musculoesquelética (de hombros, espalda, manos/muñecas o cuello) se asocia a distintos factores de riesgo relevantes, lo que permite orientar con mayor precisión cualquier iniciativa preventiva al respecto, según las características propias de la tarea y el perfil del trabajador. Cuando se aplican distintos métodos de evaluación que miden diversos factores de riesgo, no es fácil asociar cuál indicador reviste mayor importancia, cuál realmente guarda alguna relación importante con la enfermedad y sobre todo si todos los factores clave han sido considerados, ello sin considerar los recursos invertidos en la medición de factores que carecen de importancia.

Una de las principales contribuciones de la investigación es el establecimiento de relaciones matemáticas entre cada tipo de TME y sus factores de riesgo más significativos, en donde es posible además identificar la ponderación o peso relativo (dado por los coeficientes de la expresión) que tienen estos factores de riesgo sobre la aparición del trastorno, lo cual subsana la debilidad de otros métodos de evaluación ergonómica, en los que se establecen variables con el mismo nivel de importancia relativa, y en los que no se tiene una fundamentación clara que vinculen las variables consideradas, ni sus niveles de precisión.

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

La investigación que aquí se presenta constituye el inicio de toda una línea de investigación que se puede desarrollar en el campo de la epidemiología y de los estudios ergonómicos en general, especialmente en lo referente a la prevención de enfermedades ocupacionales y en el direccionamiento de estrategias de intervención. Cada vez es más común encontrar en las empresas gran cantidad de datos, muchas veces subutilizados, que bajo una metodología basada en técnicas de minería de datos pudieran ofrecer información valiosa de gran utilidad.

Es posible plantear el desarrollo de nuevas investigaciones de acuerdo a dos estrategias distintas: intensificación y diversificación. La primera orientada hacia una mayor profundización de la presente investigación, tanto en términos de los objetivos planteados, como de la metodología y resultados obtenidos; al respecto, nuevos estudios pudieran enfocarse a: afinar los factores de riesgo considerados inicialmente, incorporar métodos objetivos para el diagnóstico inicial de TME, considerar porcentajes de exposición a factores de riesgo, probar otros tipos de clasificadores en la fase de construcción del modelo, inclusive experimentar con metaclassificadores.

La estrategia de diversificación por su parte, se orienta hacia la ampliación de los objetivos planteados en esta investigación, lo que conduciría a: la consideración de otros tipos de trabajos y otros sectores industriales o laborales, el análisis de otras enfermedades ocupacionales u otros problemas industriales, la utilización de otras técnicas distintas para la recolección y procesamiento de los datos.

REFERENCIAS

- Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (2007). *Introducción a los trastornos musculoesqueléticos de origen laboral*. Recuperado el 15 de julio de 2013, de <https://osha.europa.eu/es/publications/factsheets/71>.
- Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (2001). *Prevención de los trastornos musculoesqueléticos de origen laboral*. Recuperado el 10 de junio de 2014, de <https://osha.europa.eu/es/publications/magazine/3>.
- Ahlgren, C., Malmgren, E. y Brulin, C. (2012). Gender analysis of musculoskeletal disorders and emotional exhaustion: interactive effects from physical and psychosocial work exposures and engagement in domestic work. *Ergonomics*, 55(2), 212-228.
- Aizat, S., Mohd, S. y Hashim, Z. (2009). The association between ergonomic risk factors, RULA score, and musculoskeletal pain among school children: a preliminary result. *Global Journal of Health Science*, 1(2), 73-84.
- Akanbi, O. y Ikemefuna, A. (2010). Tailor's chair and musculoskeletal disorders in Nigeria. *Ergonomics*, 22(2), 14-32.
- 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.
- Alrowayeh, H., Alshatti, T., Aljadi, S., Fares, M., Alshamire, M. y Alwazan, S. (2010). Prevalence, characteristics, and impacts of work-related musculoskeletal disorders: a survey among physical therapists in the State of Kuwait. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 11, 116.
- Aluja, T. (2001). La minería de datos, entre la estadística y la inteligencia artificial. *Qüestió*, 25(3), 479-498.

- Álvarez, R. (2007). *Estadística aplicada a las ciencias de la salud*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- 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.
- Asamblea Nacional (2005). *Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo*. Gaceta oficial 38236. Caracas: Ministerio del Poder Popular para el Trabajo y Seguridad Social de Venezuela.
- Asensio, S. (2009). *Metodología para la generación de agendas de rotación de puestos de trabajo desde un enfoque ergonómico mediante algoritmos evolutivos*. Tesis doctoral, Departamento de Proyectos de Ingeniería, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Asensio, S., Bastante, M. y Diego, J. (2012). *Evaluación ergonómica de puestos de trabajo*. Madrid, España: Paraninfo.
- Asociación Española de Ergonomía (s.f.). *¿Qué es la ergonomía?* Recuperado el 15 de junio de 2014, de <http://www.ergonomos.es/ergonomia.php>.
- Asociación Española de Normalización y Certificación (2009a). *UNE-EN 1005-4:2005*. Recuperado el 05 de octubre de 2014, de <http://www.aenor.es/AENOR/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0043553&pdf=#.VDGWUmd5NIE>.
- Asociación Española de Normalización y Certificación (2009b). *UNE-EN 1005-3:2002*. Recuperado el 05 de octubre de 2014, de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?codigo=N0043552&tipo=N#.VDGkF2d5NIE>.
- Asociación Española de Normalización y Certificación (2009c). *UNE-EN 1005-5:2007*. Recuperado el 05 de octubre de 2014, de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?codigo=N0040129&tipo=N#.VDGrN2d5NIG>.
- Attwood, D., Deeb, J. y Danz, M. (2004). *Ergonomic solutions for the process industries*. Burlington, USA: Elsevier Inc.
- Barriera-Viruet, H., Sobeih, T., Daraiseh, N. y Salem, S. (2006). Questionnaires vs observational and direct measurements: a systematic review. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 7(3), 261–284.
- Bell, A. y Steele, J. (2012). Risk of musculoskeletal injury among cleaners during vacuuming. *Ergonomics*, 55(2), 237–247.
- Bellorín, M., Sirit, Y., Rincón, C. y Amortegui, M. (2007). Síntomas músculo esqueléticos en trabajadores de una empresa de construcción civil. *Salud de los Trabajadores*, 15(2), 1-14.
- Bernard, B. (1997). *Musculoskeletal disorders and workplace factors. A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back*. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health.

- Bhattacharya, A. y McGlothlin J. (2011). *Occupational ergonomics. Theory and applications*. (2da ed.). Boca Ratón: CRC Press.
- Bodin, J., Ha, C., Petit, A., Sérazin, C., Descatha, A., Leclerc, A., Goldberg, M. y Roquelaure, Y. (2012). Risk factors for incidence of rotator cuff syndrome in a large working population. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 38(5), 436–446.
- 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.
- Bramer, M. (2013). *Principles of data mining*. 2da ed. Londres: Springer.
- Buckle, P. (2005). Ergonomics and musculoskeletal disorders: overview. *Occupational Medicine*, 55, 164–167.
- Burdorf, A. y Van der Beek, A. (1999). Exposure assessment strategies for work-related risk factors for musculoskeletal disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 25(sup4), 25-30.
- Bureau of Labor Statistics (2013). *Survey of occupational injuries and illnesses*. Recuperado el 28 de mayo de 2014, de <http://www.bls.gov/news.release/pdf/osh2.pdf>
- Burgess-Limerick, R., Straker, L., Pollock, C. y Egeskov, R. (2004). *Manual Tasks Risk Assessment Tool (ManTRA) V 2.0*. School of Human Movement Studies, The University of Queensland, Australia.
- Carvalho, C., Ribeiro, J. y Moreira, P. (2010). Portuguese version of the standardized Nordic musculoskeletal questionnaire: cross cultural and reliability. *Journal of Public Health*, 18, 461–466.
- Cerda, E., Hernández, A., Mondelo, P., Álvarez, E. y Rodríguez, C. (2009). La ergonomía en el sector de la construcción: el método EC2. *Ciencia y Trabajo*, 11(34), 188-192.
- Cerda, J. y Villarroel, L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena de Pediatría*, 79(1), 54-58.
- 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.
- Chiasson, M., Imbeau, D., Aubry, K. y Delisle, A. (2012). Comparing the results of eight methods used to evaluate risk factors associated with musculoskeletal disorders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42, 478-488.
- Coello, L., Casas, L., Pérez, O. y Caballero Y. (2015). Redes neuronales artificiales en la producción de tecnología educativa para la enseñanza de la diagonalización. *Revista Academia y Virtualidad*, 8(1), 12-20.

- Colombini, D. (1998). An observational method for classifying exposure to repetitive movements of the upper limbs. *Ergonomics*, 41(9), 1261-1289.
- Colombini, D., Occhipinti, E. y Grieco, A. (2002). *Risk assessment and management of repetitive movements and exertions of upper limbs*. Amsterdam: Elsevier.
- Comisiones Obreras de Castilla y León (2008). *Manual de trastornos musculoesqueléticos*. Valladolid: Secretaría de Salud Laboral.
- Concejero, P. (2004). *Comparación de modelos de curvas ROC para la evaluación de procedimientos estadísticos de predicción en investigación de mercados*. Tesis doctoral, Departamento de Metodología de las Ciencias del Comportamiento, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Corlett, E. y Bishop, R. (1976). A technique for measuring postural discomfort. *Ergonomics*, 9, 175-182.
- Cort, J. y Potvin, J. (2011). Maximum isometric finger pull forces. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41, 91-95.
- Côté, J. (2012). A critical review on physical factors and functional characteristics that may explain a sex/gender difference in work-related neck/shoulder disorders. *Ergonomics*, 55(2), 173-182.
- Dalmau, I. (2008). *Evaluación de la carga mental en tareas de control: técnicas subjetivas y medidas de exigencia*. Tesis doctoral, Departamento de Organización de Empresas, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Dash, M. y Liu, H. (2003). Consistency-based search in feature selection. *Artificial Intelligence*, 151, 155-176.
- Dempsey, P., McGorry, R. y Maynard, W. (2005). A survey of tools and methods used by certified professional ergonomists. *Applied Ergonomics*, 36, 489-503.
- Deros, B., Indah, D., . y Ahmad, I. (2010). Work-related musculoskeletal disorders among worker's performing manual material handling work in an automotive manufacturing company. *American Journal of Applied Sciences*, 7, 1087-1092.
- Diez, M., Garasa, A., Macaya, M. y Eransus, J. (2007). *Trastornos músculo-esqueléticos de origen laboral*. Pamplona, España: Instituto Navarro de Salud Laboral.
- Elders, L. y Burdorf, A. (2001). Interrelations of risk factors and low back pain in scaffolders. *Occupational and Environmental Medicine*, 58, 597-603.
- Escobar, M. y Pimienta, H. (2006). *Sistema nervioso*. Cali: Universidad del Valle.
- Farioli, A., Mattioli, S., Quaglieri, A., Curti, S., Violante, F. y Coggon, D. (2014). Musculoskeletal pain in Europe: the role of personal, occupational, and social risk factors. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 40(1), 36-46.
- Faucett, J. (2005). Integrating 'psychosocial' factors into a theoretical model for work-related musculoskeletal disorders. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6(6), 531-550.
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27, 861-874.

- Fernández, C., Cleland, J. y Huijbregts, P. (2013). *Síndromes dolorosos en el cuello y el miembro superior*. Barcelona: Elsevier España.
- Fernández, M., Fernández, M., Manso, M., Gómez, M., Jiménez, M. y Díaz, F. (2014). Trastornos musculoesqueléticos en personal auxiliar de enfermería del Centro Polivalente de Recursos para Personas Mayores “Mixta” de Gijón – CPRPM Mixta. *Gerokomos*, 25(1), 17-22.
- 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.
- Fitzgerald, R., Kaufer, H. y Malkani, A. (2004). *Ortopedia, Volumen 1*. Madrid: Ed. Médica Panamericana.
- Fleiss, J., Levin, B. y Cho, M. (2003). *Statistical methods for rates and proportions*. (3a ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Flores, R. y Bastías, M. (2011). Determinación de enfermedad profesional y estudio de puesto de trabajo. *Ciencia y Trabajo*, 13(39), 36-43.
- Fontes, R. (2002). *Seguridad y salud en el trabajo en América Latina y el Caribe: Análisis, temas y recomendaciones de política*. Recuperado el 15 de junio de 2014, de <http://publications.iadb.org/handle/11319/5260>.
- Gama, J. (2004). Functional Trees. *Machine Learning*, 55, 219-250.
- Gangopadhyay, S., Ghosh, T., Das, T., Ghoshal, G. y Das, B. (2010). Effect of working posture on occurrence of musculoskeletal disorders among the sand core making workers of west Bengal. *Central European Journal of Public Health*, 18(1), 38-42.
- García, D. (2004). *Manual de Weka*. Recuperado el 08 de septiembre de 2015, de <http://dia.fi.upm.es/~concha/SPAM/morate.pdf>.
- García-Serrano, M. (2009). *Evolución de proyecciones lineales para aprendizaje automático*. Tesis doctoral, Escuela Politécnica Superior, Universidad Carlos III de Madrid, España.
- Gilbert-Ouimet, M., Brisson, C., Vezina, M., Trudel, L., Bourbonnais, R., Masse, B., Baril-Gingras, G., Dionne, C. (2011). Intervention study on psychosocial work factors and mental health and musculoskeletal outcomes. *Healthcare Papers*, 11(Special), 47-66.
- Goldberg, D. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. Reading: Addison-Wesley.
- Golubovich, J., Chang, C. y Eatough, E. (2014). Safety climate, hardiness, and musculoskeletal complaints: A mediated moderation model. *Applied Ergonomics*, 45, 757-766.
- González, D. (2007). *Ergonomía y psicología*. (4ta ed.). Madrid: FC Editorial.
- Gütlein, M., Frank, E., Hall, M. y Karwath, A. (2009). Large-scale attribute selection using wrappers. In *Proc IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining*, 332-339.

- Habib, R., El Zein, K. y Hojeij, S. (2012). Hard work at home: musculoskeletal pain among female homemakers. *Ergonomics*, 55(2), 201–211.
- Hall, M. (1999). *Correlation-based feature selection for machine learning*. Tesis doctoral, Department of Computer Science, The University of Waikato, Hamilton, New Zealand.
- Hansson, G., Balogh, I., Unge, J., Ohlsson, K., Nordander, C., Asterland, P., Sjölander, S., Rylander, L., Winkel, J. y Skerfving, S. (2001). Questionnaire versus direct technical measurements in assessing postures and movements of the head, upper back, arms and hands. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 27(1), 30-40.
- Hart, S. y Staveland, L. (1988). *Development of NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research*. Amsterdam: Human Mental Workload.
- Health & Safety Executive (s.f.). *Manual Handling Assessment Charts (MAC) – Score sheet*. Recuperado el 05 de octubre de 2014, de <https://www.hse.gov.uk/forms/mac/macscore.pdf>.
- Health & Safety Executive (s.f.). *Assessment of Repetitive Tasks (ART) tool*. Recuperado el 05 de octubre de 2014, de <http://www.hse.gov.uk/pubns/indg438.pdf>.
- Heiden, B., Weigl, M., Angerer, P. y Müller, A. (2013). Association of age and physical job demands with musculoskeletal disorders in nurses. *Applied Ergonomics*, 44, 652-658.
- Helander, M. (2006). *A guide to human factors and ergonomics*. (2da ed.). Boca Ratón: CRC Press.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México D.F.: Editorial Mc Graw-Hill.
- Hignett, S. y McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31, 201-205.
- Hosmer, D., Lemeshow, S. y Sturdivant, R. (2013). *Applied logistic regression*. 3 ed. New Jersey: John Wiley & Sons.
- 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.
- Ilardi, J. (2012). Relationship between productivity, quality and musculoskeletal disorder risk among deboning workers in a Chilean salmon industry. *Work*, 41, 5334-5338.
- Instituto de Biomecánica de Valencia (2011). *Ergo/IBV. Evaluación de riesgos ergonómicos*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia
- Instituto Mexicano del Seguro Social (2012). *Informe de rendición de cuentas 2006-2012*. Recuperado el 28 de mayo de 2014, de <http://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/pdf/transparencia/Informe2006-2012.pdf>
- Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales (2013). *Accidentes laborales formalizados ante INPSASEL Año 2012*. Recuperado el 10 de junio de 2013, de http://www.inpsasel.gob.ve/estadisticas_08_09_10/estadisticas_2012.html

- Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales (2006). *Registro enfermedades ocupacionales Año 2006*. Recuperado el 10 de junio de 2013, de http://www.inpsasel.gob.ve/moo_medios/sec_estadisticas.html
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2012a). *Anuario de estadísticas del Ministerio de Empleo y Seguridad Social*. Recuperado el 18 de junio de 2013, de <http://www.empleo.gob.es/estadisticas/ANUARIO2011/EPR/eprp.pdf>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2012b). *VII Encuesta nacional de condiciones de trabajo 2011*. Recuperado el 18 de junio de 2013, de [http://www.oect.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/OBSERVATORIO/Informe%20\(VII%20ENCT\).pdf](http://www.oect.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/OBSERVATORIO/Informe%20(VII%20ENCT).pdf)
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2011). *Manipulación manual de cargas. Guía técnica del INSHT*. Recuperado el 05 de octubre de 2014, de <http://www.insht.es/MusculoEsqueleticos/Contenidos/Formacion%20divulgacion/material%20didactico/GuiatecnicaMMC.pdf>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2005). *NTP 702: el proceso de evaluación de los factores psicosociales*. Recuperado el 21 de marzo de 2012 de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_702.pdf
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (1997). *NTP 443: Factores psicosociales: metodología de evaluación*. Recuperado el 05 de octubre de 2014, de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_443.pdf
- Instituto Nacional de Trastornos Neurológicos y Accidentes Cerebrovasculares (2006). *Neuropatía periférica*. Recuperado el 30 de julio de 2014, de http://espanol.ninds.nih.gov/trastornos/neuropatia_periferica.htm
- Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (2010). *Manual del método CoPsoQ-istas21 (versión 1.5) para la evaluación y prevención de los riesgos psicosociales*. (1ra ed.). Barcelona: Centro de Referencia de Organización del Trabajo y Salud, ISTAS.
- International Ergonomics Association (2014). *Definition and domains of ergonomics*. Recuperado el 18 de junio de 2014, de <http://www.iea.cc/whats/index.html>
- Izquierdo, M. (2008). *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte*. Madrid: Ed. Médica Panamericana.
- Jurado, A. y Medina, I. (2008). *Tendón. Valoración y tratamiento en fisioterapia*. Barcelona, España: Editorial Paidotribo.
- Karasek, R., Brisson, Q., Kawakami, N., Houtman, I., Bongers, P. y Amick, B. (1998). The Job Content Questionnaire (JCQ): an instrument for internationally comparative assessments of psychosocial job characteristics. *Journal of Occupational Health Psychology*, 3(4), 322-355.

- Karhu, O., Kansi, P. y Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics*, 8(4), 199-201.
- Karsh, B. (2006). Theories of work-related musculoskeletal disorders: implications for ergonomic interventions. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 7(1), 71-88.
- Karwowski, W. (2006). *International encyclopedia of ergonomics and human factors*. (2da ed.) Vol.1. Boca Ratón: CRC Press.
- Kee, D. y Karwowski, W. (2001). LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time. *Applied Ergonomics*, 32, 357-366.
- Keerthi, N. y Babski-Reeves, K. (2014). Effects of personal, psychosocial and occupational factors on low back pain severity in workers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44, 335-341.
- Kemmlert, K. (1995). A method assigned for the identification of ergonomic hazards – PLIBEL. *Applied Ergonomics*, 26(3), 199-211.
- Kirkhorn, S., Earle-Richardson, G. y Banks, R. (2010). Ergonomic risks and musculoskeletal disorders in production agriculture: Recommendations for effective research to practice. *Journal of Agromedicine*, 15, 281-299.
- Kumar, S. (2001). Theories of musculoskeletal injury causation. *Ergonomics*, 44(1), 17-47.
- Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sorensen, F., Andersson, G. y Jorgensen, K. (1987). Standardised nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, 18(3), 233-237.
- Landis, J. y Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174.
- Landwehr, N., Hall, M. y Frank, E. (2005). Logistic Model Trees. *Machine Learning*, 59, 161-205.
- Lang, J. (2011). *Predictors tutorial*. Recuperado el 12 de noviembre de 2015, de http://docs.bioinfo.cipf.es/projects/1/wiki/Predictors_methods.
- Le Cessie, S. y van Houwelingen, J. (1992). Ridge estimators in logistic regression. *Applied Statistics*, 41(1), 191-201.
- Le Vay, D. (2008). *Anatomía y fisiología humana*. (2da ed.). Barcelona, España: Editorial Paidotribo.
- Li, G. y Buckle, P. (1999). Current techniques for assessing physical exposure to workrelated musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods. *Ergonomics*, 42(5), 674-695.
- Linton, S. (2000). A review of psychological risk factors in back and neck pain. *Spine*, 25(9), 1148-1156.
- López, J. y Cuevas, C. (2008). *Lesiones osteomusculares relacionadas con el trabajo*. Concepción, Chile: Universidad de Concepción, Unidad de Ergonomía.

- Luime, J., Kuiper, J., Koes, B., Verhaar, J., Miedema, H. y Burdorf, A. (2004). Work-related risk factors for the incidence and recurrence of shoulder and neck complaints among nursing-home and elderly-care workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 30(4), 279–286.
- Malagón, C. (2003). *Clasificadores bayesianos. El algoritmo Naïve Bayes*. Recuperado el 10 de noviembre de 2015, de https://www.nebrija.es/~cmalagon/inco/Apuntes/bayesian_learning.pdf
- Malchaire, J., Roquelaure, Y., Cock, N., Piette, A., Vergracht, S. y Chiron, H. (2001). Musculoskeletal complaints, functional capacity, personality and psychosocial factors. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 74, 549–557.
- Manero R., Soto L. y Rodríguez T. (2005). Un modelo simple para la evaluación integral del riesgo a lesiones músculo-esqueléticas (MODSI). *Mapfre Medicina*, 16(2), 12-20.
- Márquez, M. (2007). *Ergonomía. Fundamentos de ergonomía industrial*. San Cristóbal, Venezuela: Fondo Editorial UNET.
- McAtamney, L. y Corlett, N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99.
- Meksawi S., Tangtrakulwanich B. y Chongsuvivatwong V. (2012). Musculoskeletal problems and ergonomic risk assessment in rubber tappers: A community-based study in southern Thailand. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42, 129-135.
- Ministerio de Salud de Chile (2012). *Encuesta Nacional de Salud ENS Chile 2009-2010*. Recuperado el 18 de junio de 2013, de http://epi.minsal.cl/wp-content/uploads/2012/07/Informe-ENS-2009-2010.-CAP-5_FINALv1juliocepi.pdf
- 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
- Mondelo, P., Gregori, E., Blasco, J. y Barrau, P. (2001). *Ergonomía 3. Diseño de puestos de trabajo*. México D.F.: Alfaomega Grupo Editor.
- Moray, N. (2000). Culture, politics and ergonomics. *Ergonomics*, 43(7), 858-868.
- Motamedzade, M. y Moghimbeigi, A. (2012). Musculoskeletal disorders among female carpet weavers in Iran. *Ergonomics*, 55(2), 229–236.
- Naciones Unidas (2002). *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas, Rev.3.1*. Recuperado el 15 de junio de 2013, de <http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regcst.asp?Cl=17&Top=2&Lg=3>
- National Academy of Sciences (2001). *Musculoskeletal disorders and the workplace. Low back and upper extremities*. Washington: National Academy Press.
- Nimbarte, A. (2014). Risk of neck musculoskeletal disorders among males and females in lifting exertions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44, 253-259.
- Olson, D. y Delen, D. (2008). *Advanced data mining techniques*. London: Springer.

- Organización Internacional del Trabajo (2013a). *OIT urge a una acción mundial para combatir las enfermedades profesionales*. Recuperado el 15 de junio de 2013, de http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/media-centre/press-releases/WCMS_211645/lang-es/index.htm
- Organización Internacional del Trabajo (2013b). *La prevención de las enfermedades profesionales*. Ginebra: OIT.
- Organización Internacional del Trabajo (2010a). *Riesgos emergentes y nuevos modelos de prevención en un mundo de trabajo en transformación*. Ginebra: OIT.
- Organización Internacional del Trabajo (2010b). *Lista de enfermedades profesionales (revisada en 2010)*. Ginebra: OIT.
- Organización Mundial de la Salud (2006). *BMI classification*. Recuperado el 15 de septiembre de 2015, de: http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html
- 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>.
- Öztürk, N. y Esin, M. (2011). Investigation of musculoskeletal symptoms and ergonomic risk factors among female sewing machine operators in Turkey. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41, 585-591.
- Palma, C., Palma, W. y Pérez, R. (2009). *Data mining. El arte de anticipar*. Santiago de Chile: RIL Editores.
- Palma, M. (2010). *Sistema de apoyo al diagnóstico médico en detección de lesiones precancerígenas cervicouterinas*. Tesis de grado, Departamento de Computación, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.
- Palmer, M. y Epler, E. (2005). *Fundamentos de las técnicas de evaluación musculoesquelética*. Barcelona, España: Editorial Paidotribo.
- Passier, L. y McPhail, S. (2011). Work related musculoskeletal disorders amongst therapists in physically demanding roles: qualitative analysis of risk factors and strategies for prevention. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 12, 24.
- Patience, E. y Derek, S. (2011). A systematic review of musculoskeletal disorders among school teachers. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 12, 260.
- Pérez, A. (2004). *Patología del aparato locomotor en ciencias de la salud*. Madrid: Ed. Médica Panamericana.
- Pérez, C. (2004). *Técnicas de análisis multivariante de datos*. Madrid: Pearson.
- Pérez, C. y Santín, D. (2007). *Minería de datos. Técnicas y herramientas*. Madrid: Paraninfo.
- Piedrahíta, H. (2004). Evidencias epidemiológicas entre factores de riesgo en el trabajo y los desórdenes músculo-esqueléticos. *Mapfre Medicina*, 15, 212-221.
- Plumrose Latinoamerica (2013). *Informe de morbilidad*. Unidad de servicio médico.

- Putz, V. (1988). *Cumulative trauma disorders. A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs*. Cincinnati, USA: National Institute for Occupational Safety and Health.
- Quinlan, J. (1986). Induction of Decision Trees. *Machine Learning*, 1, 81-106.
- Rodríguez, C., Gutiérrez, L., Cortés, M. y Cerda, E. (2011). Estudio de la carga global de trabajo y percepción de molestias músculo-esqueléticas en embarazadas atendidas en la unidad de maternidad del hospital. *Ciencia y Trabajo*, 13(39), 53-56.
- Rodríguez, E., Medina, E. y Manero, R. (2008). Evaluación del nivel de riesgo a lesiones músculo esqueléticas en el sector automotriz venezolano. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 12(48), 147-156.
- Rodríguez, Y. y Guevara, C. (2011). Empleo de los métodos ERIN y RULA en la evaluación ergonómica de estaciones de trabajo. *Ingeniería Industrial*, XXXII(1), 19-27.
- Roman-Liu, D. (2007). Repetitive task indicator as a tool for assessment of upper limb musculoskeletal load induced by repetitive task. *Ergonomics*, 50(11), 1740–1760.
- Roman-Liu, D., Groborz, A. y Tokarski, T. (2013). Comparison of risk assessment procedures used in OCRA and ULRA methods. *Ergonomics*, 56(10), 1584-1598.
- Ruiz, R. (2006). *Heurísticas de selección de atributos para datos de gran dimensionalidad*. Tesis doctoral. Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos, Universidad de Sevilla.
- Ruiz, R., Aguilar, J. y Riquelme, J. (s.f.). *Evaluación de rankings de atributos para clasificación*. Recuperado el 17 de noviembre de 2015, de <http://www.lsi.us.es/redmidas/Capitulos/LMD28.pdf>.
- Rull, M. y Castel, A. (2006). Valoración del dolor. En M. Rodríguez (coord.), *Valoración y manejo del dolor. Guías clínicas de la Sociedad Española del Dolor* (pp. 45-90). Madrid: Arán Ediciones.
- Salter, R. (2000). *Trastornos y lesiones del sistema musculoesquelético: introducción a la ortopedia, fracturas y lesiones articulares, reumatología, osteopatía metabólica y rehabilitación*. Barcelona, España: Elsevier.
- 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.
- Scheaffer, R., Mendenhall, W. y Ott, L. (2007). *Elementos de muestreo*. Sexta edición. Madrid: Paraninfo.
- 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.

- Silva, L. (1994). *Excursión a la regresión logística en ciencias de la salud*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Sim, J., Lacey, R. y Lewis, M. (2006). The impact of workplace risk factors on the occurrence of neck and upper limb pain: a general population study. *BMC Public Health*, 6(234), 1-10.
- Stock, S. y Tissot, F. (2012). Are there health effects of harassment in the workplace? A gender-sensitive study of the relationships between work and neck pain. *Ergonomics*, 55(2), 147-159.
- Stover, B., Silverstein, B., Wickizer, T., Martin, D. y Kaufman, J. (2007). Accuracy of a disability instrument to identify workers likely to develop upper extremity musculoskeletal disorders. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 17, 227-245.
- Su, J., Zhang, H., Ling, C. y Matwin, S. (2008). *Discriminative parameter learning for bayesian networks*. Helsinki: Proceedings of the 25th International Conference on Machine Learning.
- Szklo, M. y Nieto, J. (2003). *Epidemiología intermedia: conceptos y aplicaciones*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Tape, T. (s.f.). *Interpreting diagnostic tests. The area under an ROC curve*. Recuperado el 14 de noviembre de 2015, de <http://gim.unmc.edu/dxtests/roc3.htm>.
- 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.
- Tinubu, B., Mbada, C., Oyeyemi, A. y Fabunmi, A. (2010). Work-related musculoskeletal disorders among nurses in Ibadan, south-west Nigeria: a cross-sectional survey. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 11, 12.
- Universidad Politécnica de Valencia (2006a). *Check list OCRA*. Recuperado el 15 de febrero de 2015, de <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/ocra/ocra-ayuda.php>.
- Universidad Politécnica de Valencia (2006b). *NIOSH (Ecuación revisada de NIOSH)*. Recuperado el 15 de febrero de 2015, de <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/niosh/niosh-ayuda.php>.
- Universidad Politécnica de Valencia (2006c). *RULA (Rapid Upper Limb Assessment)*. Recuperado el 15 de febrero de 2015, de <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php>.
- Valecillo, M., Quevedo, A., Lubo, A., Dos Santos, A., Montiel, M., Camejo, M. y Sánchez, M. (2009). Síntomas musculoesqueléticos y estrés laboral en el personal de enfermería de un hospital militar. *Salud de los Trabajadores*, 17(2), 85-95.
- Van der Beek, A. y Frigs-Dresen, M. (1998). Assessment of mechanical exposure in ergonomic epidemiology. *Occupational and Environmental Medicine*, 55, 291-299.
- Velandia, E. y Muñoz, J. (2004). Factores de riesgo de carga física y diagnóstico de alteración osteomuscular en trabajos de minas de carbón en el valle de Ubaté. *Revista Ciencias de la Salud*, 2(1), 24-32.

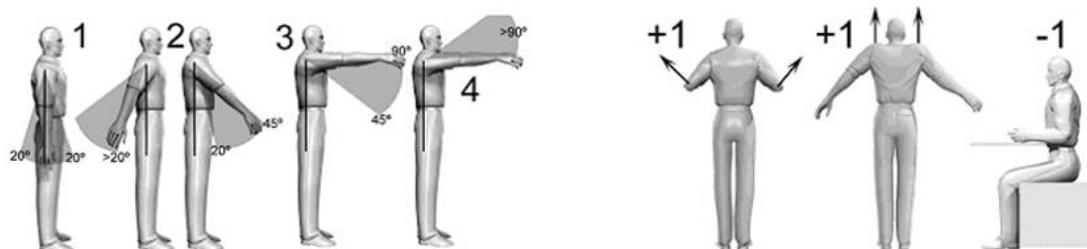
- Vernaza, P. y Sierra, C. (2005). Dolor músculo-esquelético y su asociación con factores de riesgo ergonómicos, en trabajadores administrativos. *Revista de Salud Pública*, 7(3), 317-326.
- Vieira, L., Ortiz, L. y Ramírez, S. (2009). *Introducción a la minería de datos*. Río de Janeiro: E-papers.
- Waters, T., Putz-Anderson, V. y Garg, A. (1994). *Applications manual for the revised NIOSH lifting equation*. Cincinnati: U.S. Department of Health and Human Services.
- 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.
- Widanarko, B., Legg, S., Stevenson, M., Devereux, J., Eng, A., Mannetje, A., Cheng, S. y Pearce, N. (2012). Gender differences in work-related risk factors associated with low back symptoms. *Ergonomics*, 55(3), 327-342.
- Witten, I. y Frank, E. (2005). *Data mining. Practical machine learning tools and techniques*. (2da ed.). San Francisco: Elsevier.
- World Health Organization (2009). *Global Health Risks. Mortality and burden of disease attributable to selected major risks*. Recuperado el 12 de junio de 2013, de: http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GlobalHealthRisks_report_full.pdf
- Zhang, S., Zhang, C. y Wu, X. (2004). *Knowledge Discovery in Multiple Databases*. London: Springer.
- Zorrilla, V. (2012). *Trastornos musculoesqueléticos de origen laboral en actividades mecánicas del sector de la construcción*. Tesis doctoral, Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales, Universidad de Extremadura, Extremadura, España.

ANEXOS

ANEXO A. Puntuaciones establecidas por el método RULA (UPV, 2006c)

Grupo A

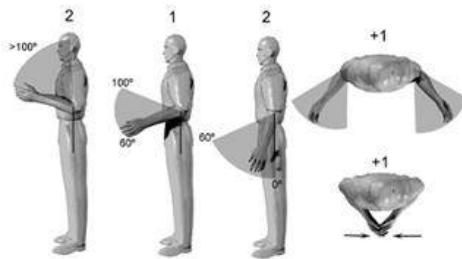
Puntuación del brazo:



Puntos	Posición
1	Desde 20° de extensión a 20° de flexión
2	Extensión >20° o flexión entre 20° y 45°

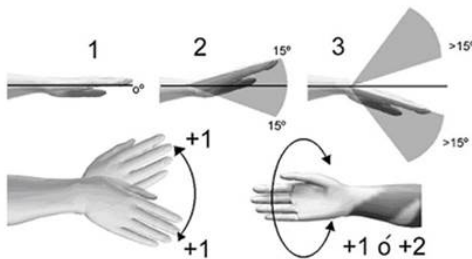
3	Flexión entre 45° y 90°
4	Flexión >90°
+1	Si el hombro está elevado o el brazo rotado
+1	Si los brazos están abducidos
-1	Si el brazo tiene un punto de apoyo

Puntuación del antebrazo:



Puntos	Posición
1	Flexión entre 60° y 100°
2	Flexión <60° o >100°
+1	Si la proyección vertical del antebrazo se encuentra más allá de la proyección vertical del codo
+1	Si el antebrazo cruza la línea central del cuerpo

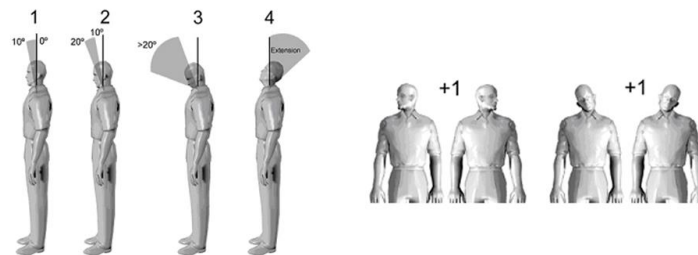
Puntuación de la muñeca:



Puntos	Posición
1	Si está en posición neutra
2	Si está flexionada o extendida entre 0° y 15°
3	Para flexión o extensión mayor de 15°
+1	Si está desviada radial o cubitalmente
+1	Si existe pronación o supinación en rango medio
+2	Si existe pronación o supinación en rango extremo

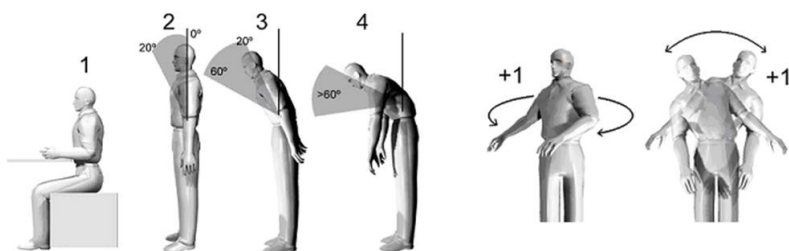
Grupo B

Puntuación del cuello:



Puntos	Posición
1	Si existe flexión entre 0° y 10°
2	Si está flexionado entre 10° y 20°
3	Para flexión >20°
4	Si está extendido
+1	Si el cuello está rotado
+1	Si hay inclinación lateral

Puntuación del tronco:



Puntos	Posición
1	Sentado, bien apoyado y con un ángulo tronco-caderas $>90^\circ$
2	Si está flexionado entre 0° y 20°
3	Si está flexionado entre 20° y 60°
4	Si está flexionado $>60^\circ$
+1	Si hay torsión de tronco
+1	Si hay inclinación lateral del tronco

Puntuación de las piernas:



Puntos	Posición
1	Sentado, con pies y piernas bien apoyados
1	De pie con el peso simétricamente distribuido y espacio para cambiar de posición
2	Si los pies no están apoyados, o si el peso no está simétricamente distribuido

Puntuación global de los miembros del grupo A:

Brazo	Antebrazo	Muñeca							
		1		2		3		4	
		Giro de muñeca		Giro de muñeca		Giro de muñeca		Giro de muñeca	
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8

6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Puntuación global de los miembros del grupo B:

Cuello	Tronco											
	1		2		3		4		5		6	
	Piernas		Piernas		Piernas		Piernas		Piernas		Piernas	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Puntuación para la actividad muscular y las fuerzas ejercidas:

Puntos	Posición
0	Si la carga o fuerza es menor de 2 Kg y se realiza intermitentemente
1	Si la carga o fuerza está entre 2 y 10 Kg y se levanta intermitente
2	Si la carga o fuerza está entre 2 y 10 Kg y es estática o repetitiva
2	Si la carga o fuerza es intermitente y superior a 10 Kg
3	Si la carga o fuerza es superior a los 10 Kg y es estática o repetitiva
3	Si se producen golpes o fuerzas bruscas o repentinas

Puntuación final RULA:

Puntuación C	Puntuación D						
	1	2	3	4	5	6	7+
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	3	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7
8+	5	5	6	7	7	7	7

ANEXO B. Determinación de multiplicadores del método NIOSH (Mondelo et al, 2001)

Multiplicador horizontal (HM) = $25 / H$

H: distancia en centímetros del punto original medida sobre el plano horizontal entre las manos y los tobillos

Multiplicador vertical (VM) = $(1 - 0,003 |V - 75|)$

V: distancia en centímetros medida en el plano vertical entre el punto medio de las manos y el suelo

Multiplicador de desplazamiento (DM) = $0,82 + 4,5 / D$

D: diferencia de altura en centímetros de la carga a levantar, desde la posición inicial a la final

Multiplicador de asimetría (AM) = $1 - (0,0032 A)$

A: ángulo (en grados) desplazado desde el origen al final del transporte en el plano sagital

Multiplicador de frecuencia (FM):

Frecuencia elev/min	Duración del trabajo					
	≤ 1 h		1 – 2 h		2 – 8 h	
	V<75	V>75	V<75	V>75	V<75	V>75
≤0,2	1,00	1,00	0,95	0,95	0,85	0,85
0,5	0,97	0,97	0,92	0,92	0,81	0,81
1	0,94	0,94	0,88	0,88	0,75	0,75
2	0,91	0,91	0,84	0,84	0,65	0,65
3	0,88	0,88	0,79	0,79	0,55	0,55
4	0,84	0,84	0,72	0,72	0,45	0,45
5	0,80	0,80	0,60	0,60	0,35	0,35
6	0,75	0,75	0,50	0,50	0,27	0,27
7	0,70	0,70	0,42	0,42	0,22	0,22
8	0,60	0,60	0,35	0,35	0,18	0,18
9	0,52	0,52	0,30	0,30	0,00	0,15
10	0,45	0,45	0,26	0,26	0,00	0,13
11	0,41	0,41	0,00	0,23	0,00	0,00
12	0,37	0,37	0,00	0,21	0,00	0,00
13	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
>15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Multiplicador de agarre (CM):

Tipo de agarre	V < 75 cm	V > 75 cm
Bueno	1,00	1,00
Regular	0,95	1,00
Malo	0,90	0,90

Valor del peso máximo recomendado (RWL) = LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM

ANEXO C. Puntuaciones establecidas por el método OCRA (UPV, 2006a)

Puntuación del factor de duración:

Duración del movimiento	Multiplicador de duración
60-120 min	0,5
121-180 min	0,65
181-240 min	0,75
241-300 min	0,85
301-360 min	0,925
361-420 min	0,95
421-480 min	1
>480 min	1,5

Puntuación del factor de recuperación:

Puntos	Recuperación
0	Existe una interrupción de al menos 8/10 min cada hora o el periodo de recuperación está incluido en el ciclo
2	Existen 2 interrupciones por la mañana y 2 por la tarde de al menos 7-10 min para un movimiento de 7-8 horas; o bien existen 4 interrupciones del movimiento; o 4 interrupciones de 8-10 min en un movimiento de 7-8 horas; o bien al menos 4 interrupciones por movimiento; o

	bien 4 interrupciones de 8/10 min en un movimiento de 6 horas
3	Existen 2 pausas, de al menos 8-10 min cada una para un movimiento de 6 horas; o bien existen 3 pausas, además del descanso para el almuerzo, en un movimiento de 7-8 horas
4	Existen 2 pausas, además del descanso para almorzar, de entre 8 y 10 min cada una para un movimiento de entre 7 y 8 horas; o 1 pausa de al menos 8-10 min en un movimiento de 6 horas
6	Existe una única pausa, de al menos 10 min, en un movimiento de 7 horas sin descanso para almorzar; o en 8 horas solo existe el descanso para almorzar
10	No existen pausas reales, excepto de unos pocos min en 7-8 horas de movimiento

Puntuación del factor de frecuencia:

Puntos	Acciones técnicas dinámicas
0	Los movimientos del brazo son lentos (20 acciones/min). Se permiten pequeñas pausas frecuentes
1	Los movimientos del brazo no son demasiado rápidos (30 acciones/min). Se permiten pequeñas pausas
3	Los movimientos del brazo son bastante rápidos (más de 40 acciones/min). Se permiten pequeñas pausas
4	Los movimientos del brazo son bastante rápidos (más de 40 acciones/min). Solo se permiten pequeñas pausas ocasionales e irregulares
6	Los movimientos del brazo son rápidos (más de 50 acciones/min). Solo se permiten pequeñas pausas ocasionales e irregulares
8	Los movimientos del brazo son rápidos (más de 60 acciones/min). La carencia de pausas dificulta el mantenimiento del ritmo
10	Los movimientos del brazo se realizan con una frecuencia muy alta (70 acciones/min o más). No se permite bajo ningún concepto las pausas
	Acciones técnicas estáticas
2,5	Se sostiene un objeto durante al menos 5 seg consecutivos, realizándose una o más acciones estáticas durante 2/3 del tiempo de ciclo (o de observación)
4,5	Se sostiene un objeto durante al menos 5 seg consecutivos, realizándose una o más acciones estáticas durante 3/3 del tiempo de ciclo (o de observación)

Puntuación del factor de fuerza:

Intensidad del esfuerzo	Duración	Puntos
Fuerza moderada (3-4 puntos en la escala de Borg)	1/3 del tiempo	2
	Más o menos la mitad del tiempo	4
	Más de la mitad del tiempo	6
	Casi todo el tiempo	8
Fuerza intensa (5-6-7 puntos en la escala de Borg)	2 segundos cada 10 minutos	4
	1% del tiempo	8
	5% del tiempo	16
	Más del 10% del tiempo	24
Fuerza casi máxima (8 puntos o más en la escala de Borg)	2 segundos cada 10 minutos	6
	1% del tiempo	12
	5% del tiempo	24
	Más del 10% del tiempo	32

Puntuación del factor de postura:

Factor de postura = Máximo (Puntuación de hombro, puntuación de codo, puntuación de muñeca, puntuación de manos) + Puntuación por movimientos estereotipados

Puntos	Hombro
1	El brazo no posee apoyo y permanece ligeramente elevado algo más de la mitad del tiempo
2	Los brazos se mantienen a la altura de los hombros y sin soporte más o menos el 10% del tiempo
6	Los brazos se mantienen a la altura de los hombros y sin soporte más o menos 1/3 del tiempo
12	Los brazos se mantienen a la altura de los hombros y sin soporte más de la mitad del tiempo
24	Los brazos se mantienen a la altura de los hombros y sin soporte todo el tiempo
Codo	
2	El codo realiza movimientos repentinos al menos un tercio del tiempo
4	El codo realiza movimientos repentinos más de la mitad del tiempo
8	El codo realiza movimientos repentinos casi todo el tiempo
Muñeca	
2	La muñeca permanece doblada en una posición extrema al menos 1/3 del tiempo
4	La muñeca permanece doblada en una posición extrema más de la mitad del tiempo
8	La muñeca permanece doblada en una posición extrema todo el tiempo
Agarre	
2	Se realizan agarres de objetos alrededor de 1/3 del tiempo
4	Se realizan agarres de objetos más de la mitad del tiempo
8	Se realizan agarres de objetos casi todo el tiempo
Movimientos estereotipados	
1,5	Repetición de movimientos idénticos del hombro y/o codo, y/o muñeca, y/o dedos al menos 2/3 del tiempo (o el tiempo de ciclo está entre 8 y 15 segundos)
3	Repetición de movimientos idénticos del hombro y/o codo, y/o muñeca, y/o dedos casi todo el tiempo (o el tiempo de ciclo es inferior a 8 segundos)

Puntuación de factores adicionales:

Puntos	Factores adicionales
2	Se utilizan guantes inadecuados más de la mitad del tiempo
2	La actividad implica golpear con una frecuencia de 2 veces por minuto o más
2	La actividad implica golpear con una frecuencia de 10 veces por hora o más
2	Existe exposición al frío más de la mitad del tiempo
2	Se utilizan herramientas que producen vibraciones de nivel bajo/medio 1/3 del tiempo o más
2	Se utilizan herramientas que producen vibraciones de nivel alto 1/3 del tiempo o más
2	Las herramientas utilizadas causan compresiones en la piel
2	Se realizan tareas de precisión más de la mitad del tiempo
2	Existen varios factores adicionales concurrentes, y en total ocupan más de la mitad del tiempo
3	Existen varios factores adicionales concurrentes, y en total ocupan todo el tiempo
+ 1	Ritmo parcialmente impuesto por la máquina
+ 2	Ritmo totalmente determinado por la máquina

ANEXO D. Data general en formato *.arff*

```
@relation data_general
@Attribute Postur NUMERIC
@Attribute Repeti NUMERIC
@Attribute Levant NUMERIC
@Attribute Empuje NUMERIC
@Attribute ExigPs NUMERIC
@Attribute TrabAc NUMERIC
@Attribute Insegu NUMERIC
@Attribute ApoySo NUMERIC
@Attribute DoblPr NUMERIC
@Attribute Estima NUMERIC
@Attribute Edad NUMERIC
@Attribute Gene NUMERIC
@Attribute IMC NUMERIC
@Attribute Fuma NUMERIC
@Attribute AntM NUMERIC
@Attribute LabD NUMERIC
@Attribute EntF NUMERIC
@Attribute AntC NUMERIC
@Attribute HExt NUMERIC
```

@Attribute Rota NUMERIC
 @Attribute Cuello {Sano,TME}
 @Attribute Hombro {Sano,TME}
 @Attribute Espalda {Sano,TME}
 @Attribute Brazo {Sano,TME}
 @Attribute Mano {Sano,TME}
 @Attribute Pierna {Sano,TME}

@Data
 1,1,1,2,1,1,3,1,2,1,1,1,6,1,0,0,1,2,1,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 1,1,1,2,2,1,3,1,3,2,2,1,4,1,0,0,2,2,1,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,6,2,1,2,2,3,1,2,3,2,1,5,0,0,0,4,1,1,1,Sano,TME,Sano,TME,TME,TME
 2,6,2,1,1,1,3,1,3,2,4,0,4,0,1,4,1,3,1,1,TME,TME,Sano,TME,TME,Sano
 2,6,2,1,3,1,3,1,3,2,4,0,4,0,1,1,0,3,1,1,TME,TME,TME,TME,TME,Sano
 3,1,3,2,2,1,3,1,3,1,2,1,6,0,0,0,2,2,1,1,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,TME
 3,1,2,2,1,1,3,2,1,3,1,1,5,0,0,0,1,1,1,1,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 2,6,2,1,2,1,3,1,3,3,2,0,5,0,0,4,0,2,1,1,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,5,2,1,1,1,3,1,1,3,2,1,5,0,0,0,0,1,1,1,Sano,Sano,Sano,Sano,TME,Sano
 2,5,2,1,2,1,3,1,3,3,2,1,5,0,0,0,1,3,1,0,Sano,TME,Sano,Sano,TME,TME
 2,6,2,1,3,1,3,1,3,2,1,2,1,5,0,0,4,0,1,4,0,2,1,1,TME,TME,Sano,Sano,TME,Sano
 1,1,1,2,1,2,3,1,2,2,1,1,4,0,0,0,0,1,1,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,6,2,1,3,1,3,1,3,1,2,1,4,0,0,0,1,1,1,1,Sano,TME,Sano,Sano,TME,Sano
 2,6,2,1,1,1,3,1,3,3,1,0,6,0,1,0,0,2,0,0,Sano,TME,TME,TME,TME,TME
 2,3,2,1,1,1,3,1,3,2,5,1,5,0,1,0,0,1,1,0,Sano,Sano,TME,Sano,TME,Sano
 2,5,1,1,2,2,3,1,3,1,1,0,4,0,0,4,3,2,1,1,TME,TME,Sano,TME,Sano,Sano
 2,5,1,1,3,2,3,1,3,1,4,0,4,0,0,4,0,3,1,1,TME,TME,Sano,Sano,TME,Sano
 4,2,2,2,3,1,3,1,2,1,2,1,5,0,0,1,0,2,1,1,TME,Sano,TME,Sano,Sano,TME
 2,5,1,1,3,3,3,1,3,3,2,0,5,0,0,4,0,1,0,1,TME,TME,Sano,Sano,Sano,TME
 2,5,1,1,1,1,3,1,3,3,4,0,4,0,0,4,0,2,0,1,Sano,TME,Sano,Sano,TME,Sano
 2,5,1,1,3,1,3,1,3,2,4,0,5,0,0,1,3,2,0,1,TME,TME,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,5,1,1,3,1,3,2,3,3,4,0,5,0,1,4,0,4,1,1,TME,TME,TME,Sano,TME,TME
 4,3,2,2,3,2,3,1,2,1,1,1,5,0,0,2,0,1,1,0,TME,TME,TME,Sano,Sano,TME
 2,5,1,1,3,1,3,1,3,2,5,0,5,0,1,2,1,2,1,1,TME,TME,TME,Sano,TME,Sano
 2,5,1,1,1,1,3,1,3,1,2,1,0,5,0,0,4,0,2,0,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 4,2,2,2,1,1,3,1,3,3,2,1,4,1,0,1,3,1,0,0,TME,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 2,5,1,1,3,1,3,1,3,1,4,0,5,0,0,4,4,4,1,0,TME,TME,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,5,1,1,1,2,3,2,3,3,3,0,6,0,0,0,0,4,0,1,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,5,1,1,3,1,3,1,3,3,0,4,0,0,4,0,2,0,1,TME,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,1,2,3,1,1,3,1,3,3,2,1,4,0,0,0,1,3,1,1,Sano,TME,TME,Sano,Sano,Sano
 3,1,2,3,3,3,3,3,3,1,1,4,0,0,0,4,2,0,1,Sano,TME,TME,Sano,Sano,Sano
 4,3,3,1,3,3,1,2,3,3,3,0,5,0,0,4,0,1,1,1,TME,TME,TME,Sano,Sano,TME
 4,3,3,1,3,2,3,2,3,3,3,0,4,0,0,4,0,2,1,1,TME,TME,TME,Sano,Sano,Sano
 4,3,3,1,3,1,3,1,2,2,5,0,4,0,0,2,0,3,1,1,TME,TME,TME,Sano,Sano,Sano
 4,3,3,1,3,1,3,2,1,3,3,0,4,0,0,4,0,2,1,1,TME,TME,TME,Sano,Sano,TME
 3,1,2,3,3,1,3,3,3,3,2,1,6,0,0,0,0,3,1,1,Sano,TME,TME,Sano,Sano,TME
 4,3,3,1,2,1,3,2,3,3,3,0,5,0,0,1,0,3,1,1,TME,TME,TME,Sano,Sano,TME
 3,1,2,3,1,2,3,1,2,2,1,1,5,0,0,0,0,1,1,1,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 3,1,2,3,1,2,2,3,2,2,3,1,6,0,0,0,0,2,1,1,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 3,1,2,2,1,1,3,2,1,3,3,1,5,0,0,0,1,4,1,1,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 4,3,3,1,3,3,3,1,3,3,5,0,4,0,0,4,0,3,1,1,TME,TME,TME,Sano,Sano,TME
 3,3,3,1,2,2,3,2,2,3,5,1,6,0,0,0,0,1,1,0,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 3,3,2,1,1,2,3,1,3,3,1,1,4,0,0,0,1,1,1,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,3,2,1,2,2,3,1,1,3,1,1,7,0,0,0,0,2,1,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,3,2,1,3,2,3,2,2,3,1,1,4,0,0,0,1,1,1,1,TME,TME,TME,Sano,Sano,Sano
 3,1,1,2,3,1,3,2,2,3,5,1,5,0,0,0,1,4,1,0,Sano,Sano,TME,TME,Sano,Sano
 1,1,1,2,3,2,3,2,3,2,2,1,5,0,0,0,1,1,1,1,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,TME
 3,4,2,1,3,1,3,1,3,2,2,0,5,0,0,4,0,2,0,1,TME,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,4,2,1,1,1,3,1,3,1,3,0,5,0,0,1,0,1,1,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,4,2,1,1,1,3,1,3,2,3,0,4,0,0,3,2,1,1,1,Sano,Sano,TME,Sano,TME,Sano
 3,4,1,1,3,1,3,1,3,2,1,0,5,0,0,4,0,1,1,1,TME,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,4,1,1,1,1,3,2,3,2,1,0,3,0,0,0,1,1,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,4,2,1,1,1,2,1,1,2,4,1,4,0,0,2,2,1,1,1,Sano,Sano,Sano,Sano,TME,Sano

3,3,2,2,1,1,3,1,2,3,5,1,5,0,0,4,2,1,1,0,Sano,Sano,TME,Sano,TME,Sano
 3,3,2,2,3,2,3,1,1,1,1,4,0,0,0,0,1,1,0,TME,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 3,3,2,2,2,1,3,2,3,2,2,1,4,0,0,0,0,1,0,0,TME,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 4,5,3,1,3,2,3,3,3,2,0,5,0,0,4,0,2,1,1,TME,TME,TME,Sano,TME,Sano
 3,2,2,1,1,1,3,2,1,3,1,1,5,0,0,0,0,1,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,2,2,1,2,3,3,2,3,2,1,5,0,0,0,0,2,1,1,TME,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 4,5,3,1,2,2,3,2,3,2,0,4,0,0,1,0,2,1,1,TME,TME,TME,Sano,TME,Sano
 4,3,3,1,3,1,3,3,2,3,1,0,4,0,0,4,0,1,1,1,TME,TME,TME,Sano,TME,TME
 2,5,1,1,1,1,3,3,2,3,2,0,4,0,1,4,0,2,1,0,Sano,TME,TME,Sano,TME,Sano
 4,5,3,1,3,1,3,1,3,3,4,0,4,0,1,1,1,1,1,TME,TME,TME,Sano,TME,Sano
 3,2,1,1,1,1,3,2,1,1,2,1,5,0,0,0,0,2,1,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,2,1,1,1,1,1,2,2,2,1,5,0,0,1,1,1,0,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,2,1,1,1,1,3,1,1,3,1,1,4,0,0,0,2,2,1,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,1,2,1,2,1,3,1,2,3,1,1,6,1,0,1,1,2,1,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 1,1,1,1,3,3,3,1,2,1,3,1,6,0,1,0,0,2,0,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,TME
 1,1,1,1,3,3,3,2,2,3,2,1,5,0,0,0,0,3,0,0,Sano,Sano,Sano,TME,Sano,Sano
 4,2,2,1,3,1,3,1,2,3,5,1,6,0,0,1,4,5,0,0,TME,TME,TME,Sano,Sano,TME
 3,5,1,1,1,2,3,2,1,3,4,1,6,0,1,1,0,3,0,0,Sano,TME,TME,Sano,TME,Sano
 2,4,1,1,1,1,3,1,1,1,5,1,6,0,0,1,0,5,0,0,Sano,Sano,Sano,TME,TME,TME
 2,3,1,1,3,3,3,1,1,3,4,1,5,0,0,2,0,4,0,0,Sano,TME,TME,TME,Sano,TME
 2,3,1,1,1,3,3,3,3,2,1,5,0,1,2,1,2,0,0,Sano,Sano,TME,TME,Sano,TME
 3,4,1,1,1,1,3,1,1,1,5,1,6,0,0,1,1,5,0,0,TME,TME,Sano,TME,TME,TME
 2,4,1,1,2,1,3,1,1,1,3,1,4,0,0,1,0,2,0,0,Sano,Sano,Sano,TME,TME,Sano
 3,4,1,1,1,2,3,2,2,3,4,1,4,0,0,0,4,4,0,1,Sano,TME,Sano,Sano,TME,Sano
 3,4,1,1,1,2,3,2,2,3,3,1,6,0,1,1,0,2,0,0,TME,TME,TME,Sano,TME,TME
 3,5,1,1,3,2,3,2,1,3,4,1,5,0,0,2,0,5,0,1,TME,TME,Sano,TME,TME,TME
 3,4,1,1,3,1,3,1,1,1,3,1,1,1,3,1,7,1,1,1,1,3,0,0,TME,TME,TME,Sano,TME,TME
 3,4,1,1,3,3,3,1,1,3,4,1,5,0,1,2,0,5,0,0,TME,TME,TME,Sano,TME,Sano
 3,4,1,1,1,3,3,2,1,3,5,1,5,0,0,1,1,4,0,0,TME,TME,Sano,Sano,TME,Sano
 2,3,1,1,1,1,3,1,1,3,5,1,5,1,0,4,4,5,0,0,TME,Sano,TME,TME,TME,TME
 3,4,1,1,1,3,3,3,1,3,5,1,6,0,0,0,0,5,0,0,TME,TME,Sano,Sano,TME,TME
 4,1,2,2,1,2,3,3,2,3,2,1,7,0,0,1,1,2,0,0,TME,TME,TME,TME,Sano,TME
 1,2,1,2,1,1,3,3,1,3,4,1,6,0,1,0,2,3,0,0,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 2,4,1,1,1,3,3,2,1,3,4,1,4,0,0,2,1,3,0,1,Sano,TME,TME,Sano,TME,Sano
 2,1,3,2,1,2,3,2,1,3,3,1,4,0,0,2,4,2,0,0,TME,Sano,TME,TME,Sano,Sano
 3,2,1,1,1,2,3,1,2,3,3,1,7,0,1,1,1,2,0,1,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,TME
 3,4,1,1,1,2,3,2,1,3,3,1,5,0,0,1,4,3,0,0,Sano,TME,Sano,Sano,TME,Sano
 2,2,1,1,1,2,2,1,2,3,2,1,5,0,0,1,0,2,0,0,Sano,Sano,Sano,TME,Sano,Sano
 3,2,2,1,1,1,1,1,3,4,1,6,0,1,0,0,3,0,0,Sano,TME,TME,Sano,Sano,Sano
 3,4,1,1,1,2,2,1,1,3,1,1,5,0,0,0,2,3,0,1,Sano,TME,Sano,Sano,TME,Sano
 3,4,1,1,1,1,3,1,2,3,4,1,4,0,1,0,1,4,0,0,TME,TME,TME,Sano,TME,Sano
 3,4,1,1,1,1,3,1,1,3,2,1,7,0,0,0,1,4,0,1,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,TME
 3,2,1,1,1,1,2,1,3,1,3,1,5,0,0,2,3,4,0,1,TME,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,2,2,1,1,1,1,2,2,3,5,1,5,0,0,1,1,2,0,0,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 2,1,1,1,1,1,3,1,1,2,4,1,5,0,1,1,4,3,1,0,TME,Sano,TME,Sano,Sano,TME
 3,5,1,1,1,1,3,1,1,2,5,1,5,0,0,0,0,3,0,0,Sano,TME,TME,TME,TME,Sano
 1,1,1,1,1,2,3,1,3,3,4,1,5,0,1,0,0,1,0,1,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 3,1,1,1,1,2,3,1,1,3,4,1,5,0,0,0,2,3,0,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,2,1,1,1,2,3,1,2,2,5,1,6,0,0,0,0,3,0,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,2,1,1,1,1,3,1,2,3,3,1,6,0,1,0,0,2,0,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,3,1,1,1,3,3,1,1,3,5,1,5,0,1,0,0,4,0,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,3,1,1,1,2,3,1,1,3,1,1,7,0,1,0,0,2,0,1,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,3,1,1,1,2,3,1,1,3,5,1,5,0,1,0,0,5,0,1,Sano,TME,Sano,Sano,TME,Sano
 3,2,1,1,1,1,1,1,3,4,1,6,0,0,1,0,2,0,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,2,1,1,1,2,1,2,2,3,5,1,5,0,1,0,0,5,0,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 1,3,1,1,1,2,3,3,2,3,5,1,6,0,1,0,0,3,0,0,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,5,1,1,1,1,1,2,3,3,1,5,0,0,0,2,1,0,0,Sano,TME,Sano,Sano,TME,Sano
 3,3,1,1,1,3,1,3,1,2,1,1,4,0,1,1,1,4,0,1,TME,TME,TME,Sano,Sano,Sano
 3,3,2,1,1,3,3,2,1,3,4,1,5,0,0,1,0,4,0,1,Sano,TME,TME,Sano,Sano,Sano
 3,3,2,1,1,1,3,1,1,1,4,1,4,1,0,0,0,3,0,1,Sano,TME,TME,TME,Sano,Sano
 1,1,1,2,1,1,2,1,1,2,2,1,5,0,0,0,1,3,0,0,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 3,3,2,1,1,2,3,3,2,3,2,1,4,0,0,0,4,3,0,1,Sano,TME,TME,Sano,Sano,Sano

3,3,2,1,1,3,3,1,1,1,4,1,5,0,1,0,0,2,0,1,Sano,TME,TME,Sano,TME,TME
 3,3,2,1,1,2,3,1,3,1,4,1,6,0,0,1,1,1,0,1,Sano,Sano,TME,Sano,TME,Sano
 3,3,2,1,1,2,3,1,1,1,4,1,6,0,1,0,0,2,0,1,Sano,Sano,TME,Sano,TME,Sano
 3,3,2,1,2,3,3,3,2,3,2,1,4,0,0,0,1,2,1,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 1,1,1,2,1,1,3,2,1,3,2,1,4,0,0,0,0,2,0,0,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 2,5,1,1,1,2,3,1,1,1,3,1,5,0,1,1,4,3,0,0,Sano,TME,TME,Sano,TME,Sano
 2,5,1,1,1,2,3,2,1,3,1,1,6,0,0,0,0,3,0,0,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,5,1,1,1,1,3,1,3,1,2,1,5,0,0,0,0,3,0,0,Sano,TME,TME,Sano,TME,Sano
 4,4,2,1,1,1,3,1,2,1,4,1,5,0,0,1,0,2,0,0,TME,Sano,Sano,Sano,TME,Sano
 4,4,2,1,1,1,2,1,2,3,1,1,5,0,0,0,1,2,1,0,TME,TME,TME,Sano,Sano,Sano
 3,3,2,1,2,1,3,2,1,3,3,1,5,0,0,0,1,4,1,1,Sano,TME,TME,Sano,Sano,Sano
 2,3,1,1,1,1,2,1,1,1,4,1,5,0,1,0,0,4,1,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,3,1,1,1,1,3,2,1,3,2,0,4,0,1,4,0,3,0,1,Sano,TME,TME,TME,TME,Sano
 2,2,1,1,1,1,3,1,1,2,1,1,4,0,0,0,1,2,0,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,3,1,1,1,1,3,1,1,3,4,1,6,0,0,0,1,5,0,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,3,1,1,1,1,3,2,3,3,1,5,1,0,0,0,4,0,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,3,1,1,1,1,3,1,1,3,3,1,5,0,0,0,1,3,0,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,3,1,1,1,1,3,1,2,1,4,1,6,1,0,0,1,5,0,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,3,1,1,1,3,3,1,1,3,4,1,5,0,0,0,0,3,0,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,4,1,1,1,2,2,3,1,3,3,1,5,1,4,1,1,0,0,4,0,0,Sano,TME,Sano,Sano,TME,Sano
 2,4,1,1,1,3,3,1,3,2,2,1,7,0,0,2,0,3,0,1,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,4,1,1,1,1,3,1,1,1,3,1,6,0,1,0,2,2,0,1,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,4,1,1,2,1,2,2,1,2,3,1,6,0,0,0,1,3,0,1,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,4,1,1,1,2,3,1,1,1,2,1,4,0,1,0,0,4,0,1,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,4,1,1,1,1,3,2,1,3,2,1,6,0,1,0,0,3,1,1,Sano,TME,TME,Sano,TME,TME
 2,4,1,1,2,2,3,3,1,2,3,1,5,0,0,0,0,4,0,1,Sano,TME,Sano,Sano,TME,Sano
 2,4,1,1,1,3,2,2,3,3,1,4,0,1,0,0,3,0,1,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 2,3,1,1,1,3,3,3,2,1,4,1,5,0,0,0,3,2,0,0,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,TME
 2,2,1,1,1,2,3,1,3,2,5,1,6,0,0,0,1,3,1,1,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,TME
 3,4,1,1,1,2,3,3,2,3,5,1,5,1,0,1,1,5,1,0,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,TME
 2,2,1,1,1,2,3,3,1,3,4,1,7,0,0,1,1,2,1,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 4,3,1,1,1,2,2,1,1,2,3,1,4,0,1,0,1,3,0,0,TME,TME,TME,Sano,TME,Sano
 4,3,1,1,1,1,3,1,3,2,3,1,5,0,0,0,2,4,1,0,TME,TME,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,1,1,1,1,1,2,3,1,3,4,1,5,0,1,0,0,5,0,0,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,TME
 2,2,1,1,1,1,3,2,2,1,3,1,6,0,0,0,1,2,0,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,3,1,1,1,1,3,1,1,3,4,1,6,0,0,0,0,1,0,0,Sano,Sano,Sano,TME,Sano,Sano
 2,3,1,1,1,2,3,1,1,3,3,1,6,0,0,0,0,4,1,0,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,TME
 2,3,1,1,1,2,3,1,3,3,4,1,6,0,0,0,0,4,0,0,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,2,1,1,1,1,3,1,2,3,5,1,7,0,1,0,1,5,0,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,2,1,1,1,1,3,1,1,3,4,1,5,0,0,0,0,2,0,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 4,3,1,1,1,1,2,2,2,2,3,1,7,0,1,0,0,2,0,0,TME,TME,TME,TME,TME,TME
 2,1,1,1,1,1,3,1,1,3,4,1,6,0,1,0,0,5,1,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,2,1,1,1,2,3,1,2,2,2,1,7,0,0,0,0,3,1,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,2,1,1,1,2,1,1,1,1,2,1,4,0,0,1,1,4,1,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,2,2,1,1,2,3,2,1,3,1,1,5,0,0,0,3,1,1,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,1,1,1,1,1,3,1,2,1,2,1,6,0,0,0,0,1,1,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,2,2,1,1,2,3,1,1,1,1,1,5,0,0,0,0,1,1,1,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,2,2,2,1,3,3,3,1,3,4,1,5,0,0,1,2,4,0,1,Sano,Sano,TME,TME,TME,Sano
 2,2,2,2,1,3,3,3,1,3,4,1,5,0,0,0,0,5,1,1,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 2,2,2,2,1,3,3,2,1,2,5,1,5,0,0,0,1,5,1,1,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,TME
 2,2,2,1,1,2,3,3,1,3,3,1,5,0,1,0,1,3,1,1,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 2,2,2,1,1,3,3,3,2,3,3,1,5,0,1,0,2,3,0,1,Sano,Sano,TME,Sano,Sano,Sano
 2,2,1,1,1,1,3,2,1,3,3,1,7,0,1,0,2,1,1,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,1,1,1,1,3,3,3,1,3,1,1,4,0,0,0,1,1,1,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,3,2,1,1,1,1,2,1,3,1,1,4,0,0,0,0,2,1,0,Sano,TME,Sano,Sano,Sano,Sano
 2,3,1,1,1,2,3,2,2,3,2,1,4,0,0,0,1,2,1,0,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano,Sano
 3,4,2,1,1,3,3,1,3,1,1,6,0,0,0,1,2,1,1,TME,TME,TME,Sano,Sano,Sano
 3,4,2,1,1,3,3,1,1,3,3,1,6,0,1,0,0,2,1,1,Sano,TME,TME,Sano,TME,Sano
 3,4,2,1,1,3,1,2,1,3,1,1,4,0,0,0,3,1,1,1,Sano,TME,TME,Sano,TME,Sano

ANEXO E. Pseudocódigo del algoritmo *Functional Tree (FT)*: Construcción y poda.

Function GrowTree(Dataset, Constructor)

1. If Stop_Criterion(DataSet)
 - Return a Leaf Node with a constant value.
2. Construct a model Φ using Constructor
3. For each example $\vec{x} \in \text{DataSet}$
 - Compute $\hat{y} = \Phi(\vec{x})$
 - Extend $\vec{x}$ with new attributes $\hat{y}$.
4. Select the attribute of original as well as of newly constructed attributes that maximizes some merit-function
5. For each partition i of the DataSet using the selected attribute
 - $\text{Tree}_i = \text{GrowTree}(\text{Dataset}_i, \text{Constructor})$
6. Return a *Tree*, as a decision node based on the selected attribute, containing the Φ model, and descendants Tree_i .

End Function

Function Prune(Tree)

1. Estimate **Leaf_Error** as the error at this node.
2. If Tree is a leaf Return **Leaf_Error**.
3. Estimate **Constructor_Error** as the estimated error of Φ .
4. For each descendent i
 - Let p_i the probability that an example goes through branch i .
 - **Backed_Up_Error** $+= p_i \times \text{Prune}(\text{Tree}_i)$
5. If $\text{argmin}(\text{Leaf_Error}, \text{Constructor_Error}, \text{Backed_Up_Error})$
 - Is Leaf_Error
 - Tree = Leaf
 - Tree_Error = Leaf_Error
 - Is Model_Error
 - Tree = Constructor Leaf
 - Tree_Error = Constructor_Error
 - Is Backed_Up_Error
 - Tree_Error = Backed_Up_Error
6. Return Tree_Error

End Function

ANEXO F. Pseudocódigo del algoritmo *Logistic Model Tree (LMT)*.

```

LMT(examples){
    root = new Node()
    alpha = getCARTAlpha(examples)
    root.buildTree(examples, null)
    root.CARTprune(alpha)
}

buildTree(examples, initialLinearModels) {
    numIterations =
        CV_Iterations(examples, initialLinearModels)
    initLogitBoost(initialLinearModels)
    linearModels = copyOf(initialLinearModels)
    for i = 1...numIterations
        logitBoostIteration(linearModels, examples)
    split = findSplit(examples)
    localExamples = split.splitExamples(examples)
    sons = new Nodes[split.numSubsets()]
    for s = 1...sons.length
        sons.buildTree(localExamples[s], nodeModels)
}

CV_Iterations(examples, initialLinearModels) {
    for fold = 1...5
        initLogitBoost(initialLinearModels)
        //split into training/test set
        train = trainCV(fold)
        test = testCV(fold)
        linearModels = copyOf(initialLinearModels)
        for i = 1...200
            logitBoostIteration(linearModels, train)
            logErrors[i] += error(test)
    numIterations = findBestIteration(logErrors)
    return numIterations
}

```