



**POLITÉCNICA**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE - INEF**

**INFLUENCIA DE LA INFORMACIÓN TERMOGRÁFICA  
INFRARROJA EN EL PROTOCOLO DE PREVENCIÓN  
DE LESIONES DE UN EQUIPO DE FÚTBOL  
PROFESIONAL ESPAÑOL**

**INFLUENCE OF INFRARED THERMOGRAPHIC  
INFORMATION IN THE INJURY PREVENTION  
PROTOCOL OF A PROFESSIONAL SPANISH  
FOOTBALL TEAM**

**TESIS DOCTORAL EUROPEA / EUROPEAN DOCTORAL THESIS**

**PEDRO MARÍA GOMEZ CARMONA**

**LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE**

**MADRID, 2012**

**DEPARTAMENTO DE DEPORTES**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE - INEF**

**INFLUENCIA DE LA INFORMACIÓN TERMOGRÁFICA  
INFRARROJA EN EL PROTOCOLO DE PREVENCIÓN  
DE LESIONES DE UN EQUIPO DE FÚTBOL  
PROFESIONAL ESPAÑOL**

**INFLUENCE OF INFRARED THERMOGRAPHIC  
INFORMATION IN THE INJURY PREVENTION  
PROTOCOL OF A PROFESSIONAL SPANISH  
FOOTBALL TEAM**

**AUTOR:**

**Pedro M<sup>a</sup> Gómez Carmona**

**Licenciado en CC. de la Actividad Física y del Deporte**

**Universidad Politécnica de Madrid**

**DIRECTORES:**

**MANUEL SILLERO QUINTANA. Doctor en Ciencias de la Actividad Física  
y del Deporte. Universidad Politécnica de Madrid.**

**PEDRO J. BENITO PEINADO. Doctor en Ciencias de la Actividad Física y  
del Deporte. Universidad Politécnica de Madrid.**

**MADRID, 2012**

*Saber que se sabe lo que se sabe y  
que no se sabe lo que no se sabe;  
he aquí el verdadero saber.*

**(Confucio. 551 a.C – 478 a.C)**

*Si no conozco una cosa, la investigaré.*

**(Louis Pasteur)**



## AGRADECIMIENTOS

Sin duda este apartado de agradecimientos es uno de los más complicados de redactar de toda la tesis doctoral. Resulta muy difícil plasmar en papel algo demasiado grande como para poder expresarlo con palabras.

Como es de suponer, son todos los que están, pero seguramente no estén todos los que son. Así pues, son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en el corazón. Sin importar en dónde estén ó si alguna vez llegan a leer estas dedicatorias, quiero darles las gracias por formar parte de mí, por haberme mostrado algún día una sonrisa sincera, por haberme dado palabras de apoyo ó por haberme hecho sentir más seguro de mi mismo o más feliz para seguir mi propósito, siéntanse receptores por igual de estas palabras. Gracias de todo corazón.

En primer lugar, quiero mostrar mi agradecimiento a los jugadores de fútbol que participaron en este estudio y al cuerpo técnico del equipo, en especial a Ismael y Carlos; también al cuerpo médico, a los directivos del club, a Javi Noya y a las empresas Alava Ingenieros y Flir Systems que hicieron posible este estudio. Todos y cada uno de los participantes, con su actitud, disposición, humor, paciencia, comprensión e interés, hicieron que las tomas de datos fuesen agradables, efectivas y divertidas. Sin vosotros esta investigación no se habría podido realizar, y por ello os estaré siempre agradecido.

Agradecer a todos mis buenos profesores y maestros que han contribuido a mi crecimiento intelectual y personal.

Como no, y siempre, a mis directores de tesis, Manuel Sillero Quintana y Pedro José Benito Peinado. Gracias por formar el tándem perfecto, por conseguir enriquecer con vuestra doble visión este trabajo, tan vuestro como mío, por dedicarme vuestro tiempo y afecto.

A Manuel, gracias por tu disposición incondicional, no sólo a nivel profesional sino personal. Gracias por tratar de hacer de mí un mejor investigador, y sobretodo, por mostrarme lo que es ser una bella persona, una persona feliz, generosa, natural... En resumen, gracias por ser como eres.

A Pedro, gracias por tener siempre un hueco en tu agenda, ser incansable y por apostar en un reto diferente al de tu línea de trabajo. Gracias por apoyarme y seguir confiando en mí a pesar de los cambios realizados, por compartir mucho más que trabajo y ser mucho más que un excelente director de tesis.

A mis compañeros en el Laboratorio: Isma, Miguel (“Gitano” para los amigos), Sergio (“Canicas” para los amigos), Isabel y Javier por ser cada día más equipo, por prestarme toda la ayuda que he necesitado y por haberme hecho de tantas horas, días y meses compartidos un camino de amistad y compañerismo.

A toda la gente en el INEF que hace que la rutina sea una deliciosa variedad. A la gran familia, o mejor dicho, a la otra familia que tengo en el INEF; encabezada por: Javo, Bea, Esther, Rocío, Tito y Miguel (“Pianista” para los amigos), que tantos buenos momentos hemos compartido juntos. A Gádor, porque sin sus gestiones y consejos seguramente esta tesis tampoco estaría donde está ahora. Al personal de la Biblioteca del INEF, que dispone de un personal con mucha calidad profesional y humana. A todas aquellas personas que trabajan en el INEF, ya sea en departamentos, decanato, secretaría, gestión, cafetería, limpieza o mantenimiento, y que, de una forma directa ó indirecta, me han ayudado y querido durante todo este tiempo.

A mis amigos más cercanos de Miranda de Ebro y de la carrera, en especial al trio calavera: Victor, Angel y Jesus, por pasar el tiempo y saber que siempre les tengo cerca, a pesar de ser un dejado y a veces no cuidarles como se lo merecen.

A mi pareja, María, por su apoyo, comprensión, forma de ser y, sobretodo, por tener que sufrir en silencio todas las horas de trabajo que uno requiere, y por soportar en soledad los momentos que me habría gustado y no he podido dedicarle.

A mi familia, en especial a mis hermanas Dámaris y Lorena, por su amor, por haber contribuido a vivir una infancia perfecta, y por continuar ayudándome y apoyándome de forma incondicional. Pero sin duda, el agradecimiento más profundo y fuerte es para las personas que han sido la base e impulsoras de que todo esto haya sido posible, Loli y Luis, que sin su cariño, amor, comprensión, generosidad y ayuda nunca habría podido comenzar este camino de la vida.

MUCHAS GRACIAS A TODOS.



## **FINANCIACIÓN**

Este trabajo se ha llevado a cabo gracias a una Beca de Investigación de la Universidad Politécnica de Madrid para la realización del Doctorado.

Además, parte del trabajo se ha desarrollado gracias a la financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación, mediante la convocatoria de ayudas I+D+i del Plan de Investigación Nacional 2009-2012 (Referencia: DEP2009-07101).



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de Tablas .....	XV
Índice de Figuras.....	XIX
Índice de Ecuaciones.....	XXIII
Índice de Abreviaturas .....	XXV
Resumen.....	XXIX
Abstract.....	XXXIII
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>1.1. Conceptos básicos de termología .....</b>	<b>- 1 -</b>
1.1.1. Energía Térmica, calor y temperatura .....	- 1 -
1.1.2. Intercambio de calor entre el cuerpo humano y el ambiente.....	- 3 -
1.1.2.1. Transferencia por conducción.....	- 4 -
1.1.2.2. Transferencia por convección .....	- 6 -
1.1.2.3. Transferencia por radiación .....	- 8 -
1.1.2.4. Transferencia por evaporación.....	- 10 -
1.1.3. Métodos ópticos para la medida de la transferencia de calor y temperatura .....	- 11 -
1.1.3.1. Pirometría .....	- 14 -
1.1.3.2. Termografía .....	- 15 -
<b>1.2. Termografía Infrarroja .....</b>	<b>- 16 -</b>
1.2.1. Historia de la Termografía Infrarroja .....	- 17 -
1.2.2. Aplicaciones de la Termografía Infrarroja .....	- 20 -
1.2.2.1. Utilización de la Termografía en el ámbito industrial y de la construcción .....	- 22 -
1.2.2.2. Utilización de la Termografía en el ámbito médico .....	- 23 -
1.2.2.3. Utilización de la Termografía en el ámbito deportivo .....	- 25 -
<b>1.3. Factores que influyen en la evaluación termográfica del cuerpo     humano.....</b>	<b>- 28 -</b>

1.3.1. Factores naturales .....	- 28 -
1.3.1.1. Radiación emitida .....	- 30 -
1.3.1.2. Radiación reflejada .....	- 31 -
1.3.1.3. Variables atmosféricas.....	- 32 -
1.3.2. Factores artificiales .....	- 33 -
1.3.2.1. Variables de ingesta .....	- 34 -
1.3.2.2. Variables de aplicación cutánea .....	- 35 -
1.3.2.3. Variables terapéuticas.....	- 36 -
1.3.3. Factores deportivos .....	- 38 -
1.3.3.1. Variables de actividad física .....	- 39 -
1.3.3.2. Variables de especialización .....	- 40 -
1.3.3.3. Variables de planificación.....	- 41 -
1.3.3.4. Variables de sesión .....	- 41 -
1.3.3.5. Variables personales del deportista.....	- 42 -
<b>1.4. Fútbol y registro de lesiones en el fútbol profesional .....</b>	<b>- 44 -</b>
1.4.1. Fútbol .....	- 44 -
1.4.1.1. Historia del fútbol .....	- 44 -
1.4.1.2. Práctica del fútbol profesional, dentro de su popularidad como deporte .....	- 46 -
1.4.2. Registro de lesiones en el fútbol profesional .....	- 47 -
1.4.2.1. Definición de conceptos .....	- 49 -
1.4.2.1.1. <i>Lesión</i> .....	- 49 -
1.4.2.1.2. <i>Tipología de las lesiones</i> .....	- 51 -
1.4.2.1.3. <i>Localización de la lesión</i> .....	- 57 -
1.4.2.1.4. <i>Severidad de la lesión</i> .....	- 59 -
1.4.2.1.5. <i>Lesiones recidivantes</i> .....	- 62 -
1.4.2.1.6. <i>Mecanismos de producción</i> .....	- 64 -
1.4.2.2. La incidencia de lesión .....	- 67 -
1.4.2.3. Incidencia de lesión en el fútbol profesional actual .....	- 68 -
1.4.2.3.1. <i>Incidencia de lesión total</i> .....	- 68 -
1.4.2.3.2. <i>Incidencia de lesión en competición</i> .....	- 69 -
1.4.2.3.3. <i>Incidencia de lesión en entrenamiento</i> .....	- 70 -
1.4.2.3.4. <i>Incidencia de lesión en pretemporada</i> .....	- 71 -

1.4.2.3.5. <i>Incidencia de lesión en partidos amistosos</i> .....	- 71 -
1.4.2.4. Metodologías para el registro de lesiones en el fútbol.....	- 72 -
1.4.2.4.1. <i>Canadian Intercollegiate Sport Injury Registry Football</i> .....	- 72 -
1.4.2.4.2. <i>F-MARC</i> .....	- 72 -
1.4.2.4.3. <i>REINLE</i> .....	- 75 -
<b>1.5. Prevención de lesiones deportivas en fútbol</b> .....	- 75 -
1.5.1. Valoraciones iniciales para la prevención .....	- 77 -
1.5.2. Valoraciones continuadas para la prevención.....	- 80 -
1.5.3. Medidas básicas para la prevención.....	- 83 -
1.5.3.1. Trabajo de fuerza excéntrico .....	- 83 -
1.5.3.2. Trabajo de mejora del rango de amplitud articular .....	- 83 -
1.5.3.3. Trabajo de propiocepción .....	- 83 -
1.5.3.4. Control de la fatiga .....	- 84 -
1.5.3.5. Recuperación activa y pasiva post-ejercicio.....	- 84 -
1.5.3.6. Adecuación de la carga de entrenamiento .....	- 87 -
1.5.3.7. Trabajo de flexibilidad .....	- 88 -
1.5.3.8. Estiramientos .....	- 89 -
1.5.3.9. Reforzamiento del cinturón lumbo-pélvico .....	- 89 -
1.5.3.10. Control de peso, asesoramiento y suplementación nutricional .....	- 89 -
1.5.3.11. Farmacología.....	- 90 -
1.5.3.12. Medias de compresión y vendajes .....	- 91 -
1.5.3.13. Factores psicológicos y emocionales .....	- 92 -
1.5.3.14. Preparación física fuera de la temporada competitiva .....	- 92 -
1.5.3.15. Ejercicios de coordinación y técnica específica del deporte.....	- 93 -
1.5.3.16. Masaje .....	- 93 -
1.5.4. Programas preventivos.....	- 94 -
1.5.4.1. Programas preventivos generales .....	- 95 -
1.5.4.2. Programas preventivos específicos.....	- 99 -
<b>2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS / HYPOTHESES AND OBJECTIVES</b> .....	- 103 -
<b>2.1. Hipótesis</b> .....	- 103 -

<b>2.2. Objetivos generales y específicos</b> .....	- 103 -
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	- 109 -
<b>3.1. Diseño del estudio</b> .....	- 109 -
<b>3.2. Variables dependientes e independientes</b> .....	- 109 -
3.2.1. Variables dependientes.....	- 109 -
3.2.2. Variables independientes.....	- 110 -
<b>3.3. Muestra del estudio</b> .....	- 111 -
<b>3.4. Material</b> .....	- 112 -
3.4.1. Material de evaluación termográfica.....	- 112 -
3.4.2. Material para el registro de variables atmosféricas .....	- 113 -
3.4.3. Material Informático.....	- 114 -
<b>3.5. Personal investigador</b> .....	- 114 -
<b>3.6. Metodología de estudio</b> .....	- 115 -
3.6.1. Metodología del entrenamiento.....	- 116 -
3.6.2. Metodología para el registro de lesiones .....	- 117 -
3.6.3. Metodología para el registro de la exposición .....	- 118 -
3.6.3.1. Registro de la exposición a competición .....	- 118 -
3.6.3.2. Registro de la exposición a entrenamiento .....	- 119 -
3.6.4. Metodología para la evaluación termográfica.....	- 120 -
3.6.5. Metodología para el registro de factores incidentes en la evaluación termográfica .....	- 123 -
3.6.6. Metodología para el protocolo de prevención de lesiones .....	- 124 -
<b>3.7. Análisis estadístico</b> .....	- 125 -
<b>4. RESULTADOS</b> .....	- 131 -

<b>4.1. Descripción de la muestra</b> .....	- 131 -
4.1.1. Descripción sociodemográfica de la muestra .....	- 131 -
4.1.1.1. Procedencia de los jugadores .....	- 131 -
4.1.1.2. Raza .....	- 132 -
4.1.2. Descripción de la muestra en función de la demarcación .....	- 133 -
4.1.3. Descripción antropométrica de la muestra .....	- 134 -
4.1.3.1. Estatura.....	- 134 -
4.1.3.2. Peso.....	- 134 -
4.1.3.3. Lateralidad.....	- 135 -
4.1.3.4. Edad.....	- 135 -
<b>4.2. Determinación de los tiempos de exposición</b> .....	- 136 -
4.2.1. Tiempo de exposición a entrenamiento .....	- 137 -
4.2.2. Tiempo de exposición a competición .....	- 137 -
<b>4.3. Resultados descriptivos y comparativos de las lesiones padecidas en las pretemporada 2008 y 2009</b> .....	- 138 -
4.3.1. Frecuencia de lesión .....	- 138 -
4.3.1.1. Probabilidad de sufrir una lesión.....	- 140 -
4.3.1.2. Lesiones por jugador y pretemporada.....	- 141 -
4.3.2. Incidencia de lesión .....	- 142 -
4.3.3. Localización de las lesiones.....	- 143 -
4.3.4. Tipología de las lesiones.....	- 144 -
4.3.5. Severidad de las lesiones .....	- 146 -
4.3.6. Mecanismos de producción .....	- 146 -
4.3.7. Días de baja por lesión.....	- 147 -
4.3.8. Lateralidad de lesión.....	- 148 -
<b>4.4. Resultados de las evaluaciones termográficas</b> .....	- 149 -
4.4.1. Perfil térmico del miembro inferior de los jugadores participantes en el estudio .....	- 150 -
4.4.1.1. Perfil térmico en función de la lateralidad .....	- 150 -
4.4.1.2. Perfil térmico en función de la dominancia.....	- 156 -

4.4.2. Influencia de las condiciones ambientales de la sala de evaluación sobre la temperatura registrada por la cámara termográfica .....	- 162 -
<b>5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>- 179 -</b>
<b>5.1. Frecuencia de lesión.....</b>	<b>- 186 -</b>
5.1.1. Probabilidad de sufrir una lesión.....	- 187 -
5.1.2. Lesiones por jugador y pretemporada .....	- 187 -
<b>5.2. Incidencia de lesión.....</b>	<b>- 188 -</b>
<b>5.3. Localización de las lesiones.....</b>	<b>- 191 -</b>
<b>5.4. Tipología de las lesiones .....</b>	<b>- 192 -</b>
<b>5.5. Severidad de las lesiones .....</b>	<b>- 194 -</b>
<b>5.6. Mecanismos de producción.....</b>	<b>- 195 -</b>
<b>5.7. Días de baja por lesión .....</b>	<b>- 197 -</b>
<b>5.8. Lateralidad de lesión .....</b>	<b>- 198 -</b>
<b>5.9. Perfil térmico del miembro inferior de los jugadores participantes         en el estudio.....</b>	<b>- 198 -</b>
<b>5.10. Influencia de las condiciones ambientales de la sala de evaluación         sobre la temperatura registrada por la cámara termográfica .....</b>	<b>- 202 -</b>
<b>6. CONCLUSIONES FINALES / FINAL CONCLUSIONS.....</b>	<b>- 207 -</b>
<b>6.1. Conclusiones del objetivo principal 1º y de sus secundarios .....</b>	<b>- 207 -</b>
<b>6.2. Conclusions of main objective 1º and of their secondary.....</b>	<b>- 208 -</b>

<b>6.3. Conclusiones del objetivo principal 2º y de sus secundarios</b> .....	- 210 -
<b>6.4. Conclusions of main objective 2º and of their secondary</b> .....	-211 -
<b>6.5. Conclusiones del objetivo principal 3º y de sus secundarios</b> .....	- 213 -
<b>6.6. Conclusions of main objective 3º and of their secondary</b> .....	- 216 -
<b>7. LIMITACIONES DEL ESTUDIO</b> .....	- 221 -
<b>8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	- 227 -
<b>9. REFERENCIAS</b> .....	- 231 -
<b>10. ANEXOS</b> .....	- 260 -
<b>10.1. Anexo I. Radiación Infrarroja</b> .....	- 261 -
<b>10.2. Anexo II. Informe del Comité de Ética de la Universidad Politécnica de Madrid</b> .....	- 269 -
<b>10.3. Anexo III. Ejemplo de informe termográfico</b> .....	- 270 -
<b>10.4. Anexo IV. Protocolo de realización de evaluaciones termográficas</b> ....	- 272 -
<b>10.5. Anexo V. Cuestionario para el registro de factores incidentes en la evaluación termográfica</b> .....	- 276 -
<b>10.6. Anexo VI. Tablas de valores medios de las Tª medias y máximas registradas a los jugadores sin lesión según Tª ambiente y lateralidad</b> .....	- 277 -
<b>10.7. Anexo VII. Tablas de valores medios de las Tª medias y máximas registradas a los jugadores sin lesión según Tª ambiente y dominancia</b> .....	- 278 -

**10.8. Anexo VIII. Tablas de resultados del análisis ANOVA de un factor..... - 279 -**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.-</b> Valores de conductividad de algunos materiales.....	- 5 -
<b>Tabla 2.-</b> Valores de calor específico de determinados materiales.....	- 6 -
<b>Tabla 3.-</b> Aplicaciones comunes de los procedimientos térmicos no destructivos (Maldague, 2001).....	- 20 -
<b>Tabla 4.-</b> Distribución de la población futbolística mundial por confederaciones. ...	- 47 -
<b>Tabla 5.-</b> Incidencia de lesión durante la pretemporada y la temporada competitiva. Adaptado de Walden y colaboradores (2005b).....	- 71 -
<b>Tabla 6.-</b> <i>PEP Program: ACL Prevention Program</i> , traducida y adaptada de <i>Santa Monica Orthopaedic Group</i> (2008b).....	- 95 -
<b>Tabla 7.-</b> Variables dependientes y sus valores. ....	- 110 -
<b>Tabla 8.-</b> Variables independientes y sus valores. ....	- 110 -
<b>Tabla 9.-</b> Datos descriptivos (media $\pm$ desviación estándar (D.E.) de la muestra de estudio.....	- 111 -
<b>Tabla 10.-</b> Características generales de la cámara ThermaCAM TM SC660 (FLIR SYSTEMS, Danderyd, Sweden).....	- 113 -
<b>Tabla 11.-</b> Características generales de la estación meteorológica, modelo BAR988HG (Oregon Scientific, Portland, Oregon).....	- 114 -
<b>Tabla 12.-</b> Lugares de concentración del equipo en la pretemporada 2008 y 2009.-	- 117 -
<b>Tabla 13.-</b> Sesiones, horas y minutos de entrenamientos y partidos amistosos en la pretemporada 2008 y 2009. ....	- 117 -
<b>Tabla 14.-</b> Áreas Corporales de la Cara Anterior del Miembro Inferior del cuerpo humano que se utilizaron en el estudio, sus abreviaturas y el número del área correspondiente a la figura 15.....	- 122 -

<b>Tabla 15.-</b> Áreas Corporales de la Cara Posterior del Miembro Inferior del cuerpo humano que se utilizaron en el estudio, sus abreviaturas y el número del área correspondiente a la figura 15. ....	- 123 -
<b>Tabla 16.-</b> Tabla de contingencia porcentual de jugadores en función de su continente de procedencia y de las pretemporadas. ....	- 132 -
<b>Tabla 17.-</b> Tabla de contingencia porcentual de jugadores en función de su raza y pretemporada. ....	- 132 -
<b>Tabla 18.-</b> Tabla de contingencia porcentual de jugadores en función de la demarcación y las pretemporadas. ....	- 133 -
<b>Tabla 19.-</b> Estatura promedio (cm) en función de la pretemporada y total. ....	- 134 -
<b>Tabla 20.-</b> Peso promedio (Kg) en función de las pretemporadas. ....	- 135 -
<b>Tabla 21.-</b> Edad promedio (años) en función de la pretemporada y total. ....	- 136 -
<b>Tabla 22.-</b> Horas de exposición total y promedio por jugador en la pretemporada 2008 y 2009. ....	- 136 -
<b>Tabla 23.-</b> Horas de exposición de entrenamiento y promedio por jugador en la pretemporada 2008 y 2009. ....	- 137 -
<b>Tabla 24.-</b> Horas de exposición de competición y promedio por jugador en la pretemporada 2008 y 2009. ....	- 137 -
<b>Tabla 25.-</b> Tabla de contingencia frecuencial y porcentual de lesiones en entrenamiento y competición durante ambas pretemporadas. ....	- 138 -
<b>Tabla 26.-</b> Tabla de contingencia porcentual de lesiones en los meses de julio y agosto en función de la pretemporada. ....	- 139 -
<b>Tabla 27.-</b> Tabla de contingencia porcentual de jugadores que sufrieron o no una lesión a lo largo de la pretemporada 2008 y 2009. ....	- 140 -
<b>Tabla 28.-</b> Tabla para el cálculo del índice de riesgo lesión de un jugador y la probabilidad de lesión del jugador durante la pretemporada 2008 y 2009. ....	- 141 -

<b>Tabla 29.-</b> Promedio de lesiones que sufren los jugadores en función de la pretemporada, valorando todos los jugadores participantes en el estudio, o solamente aquellos que sufrieron alguna lesión.....	- 141 -
<b>Tabla 30.-</b> Tabla de contingencia frecuencial y porcentual de las lesiones en función de la localización durante ambas pretemporadas. ....	- 143 -
<b>Tabla 31.-</b> Frecuencia y porcentaje de lesión en función de la tipología de las lesiones en total y en cada una de las pretemporadas. ....	- 145 -
<b>Tabla 32.-</b> Frecuencia y proporción de lesiones (%) en función de la gravedad de lesión. ....	- 146 -
<b>Tabla 33.-</b> Tabla de contingencia del número de lesiones por traumatismo y sobrecarga en función de la pretemporada. ....	- 147 -
<b>Tabla 34.-</b> Número y porcentaje de lesiones (%) en función de la lateralidad del jugador lesionado. ....	- 149 -
<b>Tabla 35.-</b> Tabla de diferencia de medias y prueba t-Student de los promedios de temperaturas máximas para cada una de las zonas corporales estudiadas en función de su lateralidad. ....	- 152 -
<b>Tabla 36.-</b> Media, diferencias de medias, desviaciones típicas y valores de la prueba T-Student de las temperaturas máximas registradas de todas las zonas corporales del miembro Inf, InfA y InfP. ....	- 152 -
<b>Tabla 37.-</b> Tabla de diferencia de medias y prueba t-Student de los promedios de temperaturas medias para cada una de las zonas corporales estudiadas en función de su lateralidad.....	- 155 -
<b>Tabla 38.-</b> Media, diferencias de medias, desviaciones típicas y valores de la prueba t-Student de las temperaturas medias registradas de todas las zonas corporales del miembro Inf, InfA y InfP en función de su lateralidad.....	- 155 -
<b>Tabla 39.-</b> Tabla de diferencia de medias y prueba t-Student de las temperaturas máximas para cada una de las zonas corporales estudiadas en función de su dominancia. ....	- 158 -

**Tabla 40.-** Media, diferencias de medias, desviaciones típicas y valores de la prueba t-Student de las temperaturas máximas registradas de todas las zonas corporales del miembro Inf, InfA y InfP en función de la dominancia. .... - 158 -

**Tabla 41.-** Tabla de diferencia de medias y prueba t-Student de los promedios de temperaturas medias para cada una de las zonas corporales estudiadas en función de la dominancia. .... - 161 -

**Tabla 42.-** Media, diferencias de medias, desviaciones típicas y valores de la prueba t-Student de las temperaturas medias registradas de todas las zonas corporales del miembro Inf, InfA y InfP en función de su dominancia. .... - 161 -

**Tabla 43.-** Temperatura, Humedad y presión atmosférica de la sala de evaluación en las 31 tomas realizadas en el estudio durante la pretemporada 2009. .... - 163 -

**Tabla 44.-** Resultados del ANOVA de un factor entre los tres grupos de temperatura de la sala y las temperaturas máximas y medias registradas en diferentes zonas corporales. (Nota: En la columna de Analisis post hoc (Q) las letras del exponente indican los grupos con diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), donde “a” representa que existe diferencias significativas entre el grupo 1-2 o 3-1, y donde “b” representa que existe diferencias significativas entre el grupo 1-3 o 2-3). .... - 164 -

**Tabla 45.-** Coeficiente de correlación entre las variables de temperatura, humedad y presión atmosférica (\*\*  $p < 0,01$ )..... - 165 -

**Tabla 46.-** Coeficiente de correlación bivariado entre las variables atmosféricas y las temperaturas registradas de las zonas corporales según lateralidad (\*\*  $p < 0,01$ ; \*  $p < 0,05$ ). .... - 166 -

**Tabla 47.-** Resultados del análisis de regresión lineal de las variables  $T^a$  sala y  $T^a$  de las zonas corporales según lateralidad. .... - 168 -

**Tabla 48.-** Ecuaciones para conocer la influencia de la  $T_s$  en la  $T^a$  máxima o la  $T^a$  media de todo el tren inferior o excluyendo las zonas de tobillos y de la zona lumbar..... - 169 -

**Tabla 49.-** Clasificación de la Radiación electromagnética. .... - 261 -

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Mecanismos de liberación del exceso de calor en el cuerpo humano.....	- 3 -
<b>Figura 2.-</b> Dinámica del calentamiento y enfriamiento de un cuerpo (ITC, 2009). ...	- 6 -
<b>Figura 3.-</b> Circulación por convección en el interior de un fluido.....	- 7 -
<b>Figura 4.-</b> Parámetros del espectro electromagnético. Adaptado de Sidney (1999).	- 13 -
<b>Figura 5.-</b> Representación de los factores naturales que inciden en la evaluación termográfica (Fernández, Gómez, & Sillero, 2010). .....	- 29 -
<b>Figura 6.-</b> Ley Stefan-Boltzmann en la que se relaciona la radiación infrarroja con la temperatura (Serway & Beichner, 2002). .....	- 30 -
<b>Figura 7.-</b> Representación de la importancia de la distancia y la atmósfera en la radiación.....	- 32 -
<b>Figura 8.-</b> Factores determinantes del entrenamiento que entran dentro de las variables personales del deportista, adaptado de Benito Peinado (2008). .....	- 42 -
<b>Figura 9.-</b> Confederaciones que conforman la FIFA. ....	- 46 -
<b>Figura 10.-</b> Documento 2 del cuestionario F-MARC, propuesto por la UEFA.....	- 74 -
<b>Figura 11.-</b> Adaptación de la secuencia de prevención (Van Mechelen et al., 1992). .....	- 76 -
<b>Figura 12.-</b> F-MARC, <i>Football for health: “The 11+”</i> (FIFA, 2005).....	- 97 -
<b>Figura 13.-</b> Cámara termográfica modelo ThermaCAM TM SC660 (FLIR SYSTEMS, Danderyd, Sweden).....	- 112 -
<b>Figura 14.-</b> Ejemplos de imágenes termográficas de la cara anterior y posterior...	- 121 -
<b>Figura 15.-</b> Imágenes con las zonas corporales utilizadas y analizadas en el estudio. .....	- 122 -
<b>Figura 16.-</b> Número de lesiones por meses en función de la pretemporada. ....	- 139 -

<b>Figura 17.-</b> Incidencia de lesión (nº de lesiones / 1000 horas de exposición) en entrenamientos, competición y total, en función de la pretemporada. ....	- 142 -
<b>Figura 18.-</b> Distribución del número de casos de lesión en el muslo anterior y posterior. ....	- 144 -
<b>Figura 19.-</b> Distribución de lesiones de tipo muscular en la pretemporada 2008 y 2009. ....	- 145 -
<b>Figura 20.-</b> Número de días de baja en cada una de las pretemporadas estudiadas en función de su severidad. ....	- 148 -
<b>Figura 21.-</b> Perfil térmico de temperaturas máximas del miembro inferior de los jugadores en la pretemporada 2009 según lateralidad y sin datos de lesionados.....	- 151 -
<b>Figura 22.-</b> Perfil térmico de temperaturas medias del miembro inferior de los jugadores en la pretemporada 2009 según lateralidad y sin datos de lesionados.....	- 154 -
<b>Figura 23.-</b> Perfil térmico de las T <sup>a</sup> máximas del miembro inferior de los jugadores en la pretemporada 2009 según dominancia y sin datos de lesionados. ....	- 157 -
<b>Figura 24.-</b> Perfil térmico de las T <sup>a</sup> medias del miembro inferior de los jugadores en la pretemporada 2009 según dominancia y sin datos de lesionados. ....	- 160 -
<b>Figura 25.-</b> Correlación entre la Temperatura ambiente y la Temperatura registrada. ....	- 170 -
<b>Figura 26.-</b> Estimación de la temperatura estándar en la muestra de nuestro estudio. ....	- 170 -
<b>Figura 27.-</b> Estimación de la temperatura estándar en la muestra real (líneas discontinuas), manteniendo los datos de nuestro estudio de fondo en tonos grises. ....	- 172 -
<b>Figura 28.-</b> Ejemplo de gráfico de aplicación de la fórmula de estimación de la temperatura infrarroja estandarizada a 21°C. ....	- 174 -
<b>Figura 29.-</b> Gráfica de dispersión lineal de la PieAe y PiePi en función de la temperatura registrada y la temperatura de la sala. ....	- 175 -

<b>Figura 30.-</b> Gráfica de dispersión lineal de la rodilla y el tobillo en función de la temperatura registrada y la temperatura de la sala.....	- 176 -
<b>Figura 31.-</b> Representación gráfica de la Ley de Planck para determinadas temperaturas (López, 2010).....	- 263 -
<b>Figura 32.-</b> Calor neto transmitido entre dos cuerpos. Adaptado de (ITC, 2009)..	- 264 -
<b>Figura 33.-</b> Efecto de una fuente de radiación térmica sobre un cuerpo. Adaptado de (ITC, 2009) .....	- 265 -
<b>Figura 34.-</b> Radiaciones salientes de un cuerpo. Adaptado de (ITC, 2009). .....	- 267 -
<b>Figura 35.-</b> Radiaciones salientes de un cuerpo opaco consiste de radiación emitida y reflejada. ....	- 268 -
<b>Figura 36.-</b> Colocación del técnico tras la cámara y esquema que se utiliza para guiar al técnico en la correcta toma de fotografía.....	- 274 -
<b>Figura 37.-</b> Guia para la toma de fotografías termográficas.....	- 275 -



## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.-</b> Disipación del calor hacia la piel por conducción .....	- 4 -
<b>Ecuación 2.-</b> Flujo de calor por convección natural o libre .....	- 8 -
<b>Ecuación 3.-</b> Flujo de calor por convección forzada.....	- 8 -
<b>Ecuación 4.-</b> Fórmula de Stefan-Boltzmann de la radiación térmica .....	- 9 -
<b>Ecuación 5.-</b> Fórmula de Stefan-Boltzmann del calor térmico emitido por radiación de la piel humana.....	- 9 -
<b>Ecuación 6.-</b> Flujo de calor por radiación de una persona rodeada de una temperatura media de superficie .....	- 10 -
<b>Ecuación 7.-</b> Flujo de calor por radiación de una persona rodeada de una temperatura de superficie de 24°C .....	- 10 -
<b>Ecuación 8.-</b> Fórmula simplificada del flujo de calor por radiación de una persona rodeada de una temperatura de superficie próxima a 25°C ( $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) .....	- 10 -
<b>Ecuación 9.-</b> Flujo de calor por radiación y convección de la piel de una persona ...	- 10 -
<b>Ecuación 10.-</b> Ley de Stefan-Boltzmann de la radiación térmica emitida por un cuerpo negro .....	- 29 -
<b>Ecuación 11.-</b> Incidencia de Lesión .....	- 68 -
<b>Ecuación 12.-</b> Incidencia de Lesión Total.....	- 68 -
<b>Ecuación 13.-</b> Incidencia de Lesión en Competición.....	- 69 -
<b>Ecuación 14.-</b> Incidencia de Lesión en Entrenamiento.....	- 70 -
<b>Ecuación 15.-</b> Exposición a Competición.....	- 119 -
<b>Ecuación 16.-</b> Exposición a Entrenamiento .....	- 119 -
<b>Ecuación 17.-</b> Regresión general para todas las zonas corporales estudiadas .....	- 169 -

<b>Ecuación 18.-</b> Temperatura corporal a temperatura ambiente de sala de 31°C.....	- 170 -
<b>Ecuación 19.-</b> Variación de la temperatura corporal teórica .....	- 171 -
<b>Ecuación 20.-</b> Variación de la temperatura corporal real .....	- 172 -
<b>Ecuación 21.-</b> Temperatura corporal estandar .....	- 172 -
<b>Ecuación 22.-</b> Ecuación correctora para la variación de la temperatura corporal teórica .....	- 173 -
<b>Ecuación 23.-</b> Ecuación correctora para minimizar el efecto que la temperatura de la sala ejerce sobre la temperatura registrada por la cámara termográfica. Ejemplo a 21°C de temperatura ambiente de la sala.....	- 173 -
<b>Ecuación 24.-</b> Densidad integral de radiación.....	- 262 -
<b>Ecuación 25.-</b> Ley de Planck .....	- 262 -
<b>Ecuación 26.-</b> Ley de Wien .....	- 262 -
<b>Ecuación 27.-</b> Radiación incidente .....	- 265 -
<b>Ecuación 28.-</b> Radiación saliente .....	- 266 -

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>a.C.</b> .....	Antes de Cristo.
<b>Abd</b> .....	Abdomen.
<b>Adu</b> .....	Aductor.
<b><math>\Delta T</math></b> .....	Variación de Temperatura o diferencia de medias.
<b>AFC</b> .....	Confederación Asiática de Fútbol.
<b>AEMEF</b> .....	Asociación Española de Médicos de Equipos de Fútbol.
<b>ACL / LCA</b> .....	<i>Anterior cruciate ligament</i> / Ligamento Cruzado Anterior.
<b>CONCACAF</b> .....	<i>Confederation of North, Central American and Caribbean Association Football.</i>
<b>CONMEBOL</b> .....	Confederación Sudamericana de Fútbol.
<b>CAF</b> .....	Confederación Africana de Fútbol.
<b>cm</b> .....	Centímetros.
<b>D</b> .....	Derecho
<b>D.E.</b> .....	Desviación Estándar.
<b>DO</b> .....	Segmento corporal dominante.
<b>e</b> .....	Espesor de la zona que traspasa el calor.
<b><math>\varepsilon</math></b> .....	Emisividad.
<b><math>\varepsilon_p</math></b> .....	Emisividad de la piel humana.
<b><math>E_{res}</math></b> .....	Evaporación respiratoria.
<b>E</b> .....	Evaporación cutánea.
<b>ECG</b> .....	Electrocardiograma.
<b>Emáx.</b> .....	Evaporación cutánea máxima.
<b>F - MARC</b> .....	<i>FIFA Medical Assessment and Research Center.</i>
<b>FIFA</b> .....	<i>Federation International Football Association.</i>
<b>GPS</b> .....	<i>Global Positioning System.</i>

**h**..... Horas.  
**I**..... Izquierdo.  
**IACT**..... International Academy of Clinical Thermology.  
**InfA**..... Miembro Inferior Anterior.  
**InfP** ..... Miembro Inferior Posterior.  
**I.L.T.**..... Incidencia De lesión Total.  
**I.L.C.**..... Incidencia De lesión en Competición.  
**I.L.E.**..... Incidencia De lesión en Entrenamiento.  
**°K** ..... Temperatura en grados Kelvin.  
**Kcal**..... Kilocalorías.  
**Kg**..... Kilogramos.  
**Les.**..... Lesiones.  
**Lum**..... Lumbar.  
**máx.**..... Máximo/a.  
**mb** ..... Milibares.  
**mm** ..... Milímetros.  
**mmol**..... Milimoles.  
**MLS** ..... Major League Soccer.  
**MHz** ..... Megahertzios.  
**MusA** ..... Muslo Anterior.  
**MusAe**..... Muslo Anterior externo.  
**MusAi** ..... Muslo Anterior interno.  
**MusAc**..... Muslo Anterior central.  
**MusP**..... Muslo Posterior.  
**MusPe** ..... Muslo Posterior externo.  
**MusPi**..... Muslo Posterior interno.

<b>n</b> .....	Número de sujetos.
<b>ND</b> .....	Segmento corporal No Dominante.
<b>nm</b> .....	Nanómetros.
<b>OFC</b> .....	<i>Oceania Football Confederation.</i>
<b>OSICS</b> .....	<i>Orchard Sports Injury Classification System.</i>
<b>P<sub>a</sub></b> .....	Presiones parciales de vapor de agua del aire ambiente.
<b>P<sub>e</sub></b> .....	Presiones parciales de vapor de agua del aire espirado.
<b>PieAe</b> .....	Pierna Anterior externa.
<b>PieP</b> .....	Pierna Posterior.
<b>PiePe</b> .....	Pierna Posterior externa.
<b>PiePi</b> .....	Pierna Posterior interna.
<b>Pop</b> .....	Popliteo.
<b>pH</b> .....	Potencial de Hidrógeno.
<b>Q<sub>C</sub></b> .....	Flujo de calor por convección.
<b>Q<sub>CF</sub></b> .....	Flujo de calor por convección forzado.
<b>Q<sub>R</sub></b> .....	Flujo de calor por radiación.
<b>Q<sub>TS</sub></b> .....	Flujo de calor térmico superficial.
<b>R</b> .....	Resistencia térmica.
<b>Rod</b> .....	Rodilla.
<b>ROM</b> .....	<i>Range of motion</i> (Rango de movimiento).
<b>REINLE</b> .....	Registro de Incidencia De lesión (Cuestionario).
<b>SIU</b> .....	Sistema Internacional de Unidades.
<b>SPSS</b> .....	<i>Statistical Package for the Social Sciences.</i>
<b>S.N.P</b> .....	Sistema Nervioso Periférico.
<b>TI</b> .....	Termografía Infrarroja.
<b>TNDT</b> .....	<i>Thermal Non Destructive Testing.</i>

<b>T<sup>a</sup></b> .....	Temperatura.
<b>T<sub>C</sub></b> .....	Temperatura de las zonas corporales o piel humana.
<b>T<sub>C-estándar</sub></b> .....	Temperatura corporal estándar.
<b>T<sub>C-real</sub></b> .....	Temperatura corporal real.
<b>T<sub>S</sub></b> .....	Temperatura de la sala de evaluación.
<b>T<sub>SU</sub></b> .....	Temperatura media de superficies.
<b>T<sub>amb</sub></b> .....	Temperatura ambiente refleja.
<b>T-ambient</b> .....	Temperatura ambiente refleja.
<b>T-entorno</b> .....	Temperatura del entorno.
<b>Tob</b> .....	Tobillo
<b>UV</b> .....	Ultravioleta.
<b>UEFA</b> .....	<i>Unión of European Football Associations.</i>
<b>V.I.</b> .....	Variable Independiente.
<b>VO<sub>2max</sub></b> .....	Volumen de Oxígeno máximo.
<b>v</b> .....	Velocidad del viento.
<b>λ</b> .....	Conductividad térmica.
<b>σ</b> .....	Constante de Stefan-Boltzmann.
<b>ρ</b> .....	rho = reflectividad.
<b>τ</b> .....	tau = transmisividad.

## RESUMEN

El fútbol es un deporte en cuya práctica existe una alta incidencia de lesión. Además, en el ámbito profesional las lesiones suponen un duro proceso de recuperación para el futbolista, una reducción del rendimiento deportivo para éste y para el equipo, y unos grandes costes económicos para el club.

Dentro de esta problemática, la bibliografía consultada concluye que en las pretemporadas se produce una mayor incidencia de lesión por sobrecarga, es decir, sin contacto; un tipo de lesiones que está a nuestro alcance poder prevenir. Por ello, consideramos importante el conocer y desarrollar métodos, herramientas y principios para obtener programas preventivos efectivos, que reduzcan las elevadas cifras de incidencia de lesión mostradas por la literatura.

El presente estudio observa y registra las lesiones, a través del cuestionario F-MARC, de un equipo profesional de fútbol de la Liga Española durante las pretemporadas 2008 (n=24) y 2009 (n=24). Además, durante la pretemporada 2009 se aplicó la termografía infrarroja para adquirir información sobre la asimilación de la carga de entrenamiento por parte de los jugadores, y dicha información se utilizarán para mejorar las tomas de decisiones de protocolos post-ejercicio específicos en prevención de lesiones, los cuales fueron los mismos que se utilizaron previamente en la pretemporada 2008.

El estudio tiene un diseño con características pre-post sin grupo de control. Es un estudio longitudinal donde, tras un registro inicial de lesiones en la pretemporada 2008, los sujetos fueron expuestos a la variable independiente, utilización de la termografía infrarroja, en el protocolo de prevención de lesiones durante la pretemporada 2009.

Los resultados de este trabajo muestran una reducción significativa de hasta el 60% en la frecuencia de lesión durante la pretemporada 2009, y un descenso de la incidencia de lesión total que pasa de 8,3 lesiones por cada 1000 horas de exposición en

2008 a 3,4 en 2009. Con ello, la probabilidad de lesión se redujo considerablemente pasando de un 85% de los jugadores lesionados en 2008 a un 26% en 2009; además, las lesiones de carácter muscular descendieron en 2009 un 70% con respecto al 2008, y los días de baja que causaron todas las lesiones pasó a reducirse un 91,8% en la pretemporada 2009.

Por otro lado, el perfil térmico de los jugadores en función de su lateralidad y dominancia, guarda una gran similitud en sus temperaturas, tanto medias como máximas, con temperaturas más elevadas en la zona corporal lumbar y poplítea, y con temperaturas más bajas en tobillos y rodillas. Todas las zonas corporales estudiadas, exceptuando el tobillo ( $p < 0,05$ ), no presentan diferencias significativas entre ambos hemicuerpos, estableciendo un promedio de diferencia entre ambos lados de  $0,06 \pm 0,16$  °C. Teniendo en cuenta estos resultados, consideramos el límite superior de normalidad de asimetría térmica bilateral en  $0,3$ °C para todas las zonas corporales estudiadas del miembro inferior exceptuando los tobillos.

El parámetro ambiental que más relación tiene con la temperatura registrada por la cámara termográfica es la temperatura de la sala con un coeficiente de correlación cercano a  $r=1,00$ , seguido de la presión atmosférica con un coeficiente de correlación cercano  $r=0,50$ , y, por último, la humedad que no guarda ningún tipo de relación con la temperatura registrada en cada zona corporal en el rango de valores considerados en el estudio. Por otro lado, los resultados del ANOVA de un factor nos indican que existen diferencias de medias entre los tres grupos formados de temperatura ambiente de sala ( $1^{\circ}=18^{\circ}-21^{\circ}\text{C}$ ,  $2^{\circ}=22^{\circ}-24^{\circ}\text{C}$  y  $3^{\circ}=25^{\circ}-31^{\circ}\text{C}$ ). Además, los resultados de la prueba HSD de Tukey nos indican que existen diferencias entre cada uno de los grupos en todas las zonas corporales estudiadas exceptuando los tobillos.

Por último, se propone la ecuación;  $T_{C\text{-estándar}} = T_{C\text{-real}} - [0,184 * (T_S - 21^{\circ}\text{C})]$  para predecir la influencia de la temperatura ambiente sobre la temperatura registrada por la cámara termográfica.

Para concluir, tras los resultados obtenidos, podemos afirmar que la aplicación de un protocolo post-ejercicio de prevención de lesiones basado en la información

adquirida a través de valoraciones con termografía infrarroja reduce la incidencia de lesión en el grupo de futbolistas profesionales estudiado. Tenemos que ser conscientes que nos encontramos ante un estudio de campo, donde existen muchos factores que han podido influenciar en los resultados y que son difíciles de controlar. Por lo tanto, debemos ser cautos y concluir que la información adquirida de las evaluaciones termográficas ha sido uno de los aspectos que ayudó a la reducción significativa de la incidencia de lesión en la pretemporada 2009 en el equipo de fútbol profesional español de este estudio, pero que seguramente hayan podido existir otros factores que también hayan favorecido este hecho.



## **ABSTRACT**

Soccer is a sport with a high incidence of injury. Moreover, in professional soccer injuries lead to a tough recovery process for the players, a reduction athletic performance for them and for their teams, and large economic costs for the club.

In this issue, the literature concludes that in the preseason a greater incidence of overuse injury occurs (ie, without contact), and this is a type of injury that we can prevent. Therefore, we consider that it is important to know and develop methods, tools and principles to obtain effective preventive programs that reduce the high injury incidence figures shown in the literature.

This study observed and recorded injuries, through the questionnaire F-MARC, from a professional soccer team in the Spanish league during the preseason 2008 (n = 24) and 2009 (n = 24). Moreover, during the 2009 preseason infrared thermography was applied to acquire information about the assimilation of the training load by the players, and this information was used to improve the decision making in the specific post-exercise injury prevention protocols, which were the same used in the previous season 2008.

The study had a pre-post design without control group. Is a longitudinal study where, after an initial registration of injuries in the 2008 preseason, subjects were exposed to the independent variable, using infrared thermography, included in the protocol for injury prevention during the 2009 preseason.

The results of this study show a significant reduction of up to 60% in the frequency of injury during the 2009 preseason, and a decrease in total injury incidence passing from 8.3 injuries per 1000 hours of exposure in 2008 to 3.4 in 2009. With this, the likelihood of injury decreased significantly from 85% of the players injured in 2008 to 26% in 2009, also muscle injuries in 2009 fell 70% compared to 2008, and sick leave days that caused by all the injuries happened were reduced a 91.8% in the 2009 preseason.

On the other hand, the thermal profile of the players according to their laterality and dominance, is quiet similar in their temperatures, both average and maximum values, with an estimated average of the highest temperatures in the lower back and popliteal areas in the back areas, and lower temperatures in the ankles and knees. All body areas studied, except for the ankle ( $p < 0.05$ ), had no significant differences between both sides of the body, establishing an average difference between both sides of  $0.06 \pm 0.16$  °C. Given these results, we consider the upper limit of normal bilateral thermal asymmetry  $0.3$  °C for all body areas studied in the lower limb except for ankles.

The environmental parameter higher related with temperature recorded by the camera is the temperature of the room with a correlation coefficient close to  $r = 1.00$ , followed by atmospheric pressure with a correlation coefficient near  $r = 0.50$ , and finally, the humidity that, in the range of values considered in the study, it is not related with temperature in each body area. On the other hand, the results of one-way ANOVA indicate that there are differences between the three temperature of the room groups ( $1^\circ = 18-21$  °C,  $2^\circ = 22-24$  °C and  $3^\circ = 25-31$  °C). Moreover, the results of the Tukey HSD test indicate that there are differences between each of the groups for all body areas studied except the ankles.

Finally, we propose the equation  $T_{C-standard} = T_{C-real} - [0,184 * (T_s - 21^\circ C)]$  to predict the influence of temperature on the temperature recorded by the thermographic camera.

In conclusion, we can say from our results that the implementation of a post-exercise injury prevention protocol based on information from assessments with infrared thermography reduces the incidence of injury in professional soccer players. We must be aware that we are facing a field study, where there are many factors that could influence the results and they are difficult to control. Therefore, we must be cautious and conclude that the information acquired from the thermographic evaluation has been one of the aspects that helped to significantly reduce the incidence of injury in the preseason 2009 in the Spanish professional football team, but probably they could exist other factors with a positive effect on the reduction of the injury rates..

## **1. MARCO TEÓRICO**



## **1. MARCO TEÓRICO**

La termografía infrarroja aplicada al ser humano permite de una manera rápida, objetiva y no invasiva, medir y visualizar temperaturas de superficie con elevada precisión por medio de un sensor infrarrojo, proporcionando un detallado mapa de temperaturas de las diferentes áreas del cuerpo humano, en las que cada píxel de la imagen corresponde a un dato de temperatura.

En el presente trabajo se pretende dar a la termografía infrarroja una nueva aplicación y trasladarla al ámbito deportivo como medio para valorar la asimilación de la carga de ejercicio físico realizado por los deportistas, con el objetivo de utilizar la información extraída de estas valoraciones en la aplicación de protocolos de prevención y seguimiento de lesiones.

### **1.1. CONCEPTOS BÁSICOS DE TERMOLOGÍA**

Numerosos autores recogen los fundamentos y los detalles de la transferencia de calor, la termodinámica y la termotransferencia. Para entrar al detalle invitamos al lector a la consulta de obras como las de Serway & Beichner (2002), Incropera (1999), Sigalés (2003) o cualquier otra referencia bibliográfica perteneciente a este campo de la Física.

#### **1.1.1. ENERGÍA TÉRMICA, CALOR Y TEMPERATURA**

La materia está compuesta de átomos y moléculas en constante movimiento. La energía hace que estén en constante movimiento: rotando alrededor de sí mismas, vibrando o colisionando unas con otras. El movimiento y, en su caso, el desplazamiento de los átomos y moléculas de un cuerpo, crea una forma de energía llamada energía térmica, que está presente en todo tipo de materia. Incluso en los vacíos más fríos de espacio hay materia que posee energía, muy pequeña, pero aún medible. Por lo tanto, una característica de la materia está relacionada con esa energía; hablaremos entonces de su *temperatura*.

El *calor* es la energía térmica total en una sustancia o cuerpo, mientras que la temperatura de dichos cuerpos es una medida de la energía térmica media. Por lo tanto, la temperatura no es energía sino una medida de ella, es una medida del calor ó energía térmica de las partículas en una sustancia. Mientras que el calor depende de la velocidad, número, tamaño y tipo de las partículas, la temperatura no es más que el reflejo de alguna de estas cualidades. Esta concepción y diferenciación de los términos de calor y temperatura no apareció hasta los escritos de Joseph Black (1728-1799), quien distinguió entre la cantidad (caloría) y la intensidad (temperatura) del calor. Ambos términos resultan medibles y esta medida acaba siendo de gran importancia para multitud de procesos. Sin embargo, por simplificación y comodidad, la temperatura se impone, entre ambos conceptos, como el término más usado.

La temperatura es tan importante que se ha definido como una de las siete magnitudes fundamentales del Sistema Internacional de Unidades, SIU. Su unidad es el grado Kelvin (K), que se ha establecido mediante la elección de un valor para la temperatura termodinámica (absoluta) de un estado de la materia bien definido, universal y reproducible, y se define como “la fracción  $1/273,16$  de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.” (CENAM, 2011).

Hay muy pocas propiedades de materiales que no cambien con la temperatura y consecuentemente un alto porcentaje de métodos de ensayo involucran la medición de esta magnitud. Además, la metrología de temperatura o termometría caracteriza la materia en función de su comportamiento térmico, diferenciando perfectamente los comportamientos comunes de los anómalos.

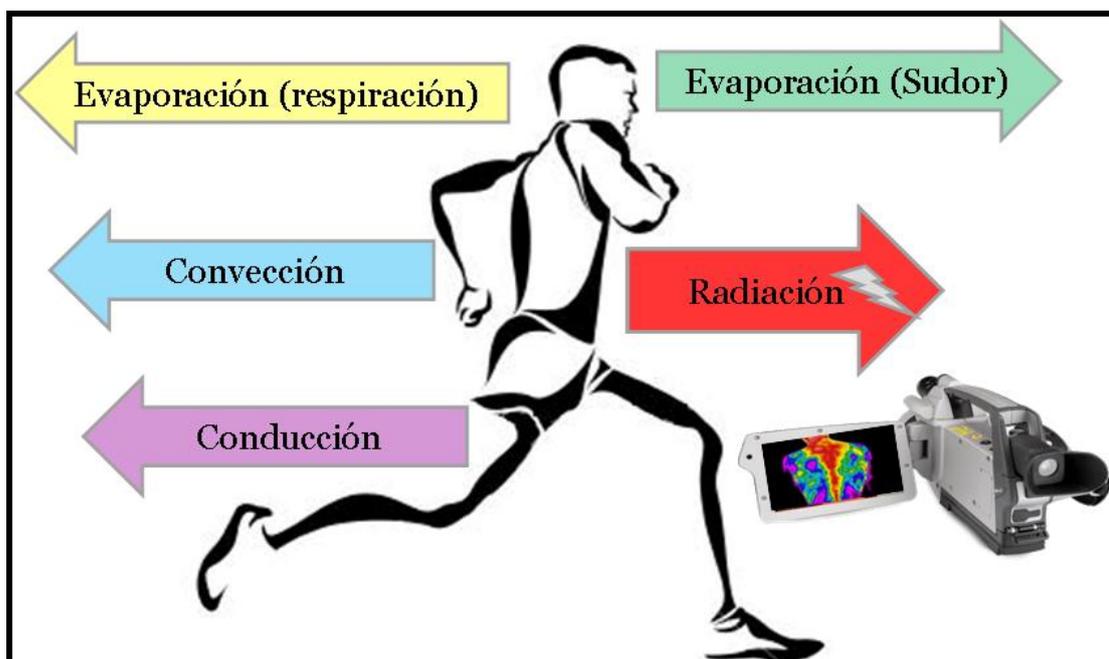
El hecho de tener una temperatura corporal diferente a la habitual puede relacionarse con la etapa de una enfermedad. Ya en tiempos antiguos, dentro de la filosofía china se consideró que la salud, como todo lo que existe en el universo, está vinculada a la armonía del cuerpo y del espíritu (el yin y el yang). Se establecía una clasificación del tipo de enfermedad padecida en función de la temperatura; el exceso de “yin” conduce a enfermedades agudas, febriles, secas, mientras que el exceso de “yang” lleva a enfermedades crónicas, frías o húmedas. Por otro lado, el encontrar una zona caliente en una pieza mecánica puede indicar abrasión o fricción en esa zona. Éstos son

algunos de los numerosos ejemplos que nos permiten relacionar un gradiente de temperatura con la existencia de defectos o anomalías en los cuerpos o materiales.

### 1.1.2. INTERCAMBIO DE CALOR ENTRE EL CUERPO HUMANO Y EL AMBIENTE

Dentro de la Termología (parte de la física que trata de todos los fenómenos en los que interviene el calor), la transferencia de calor se puede definir como *“la ciencia cuyo objetivo es predecir la cesión de energía que se produce entre medios materiales como consecuencia de las diferencias de temperatura”*(Serway & Beichner, 2002). Siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor. La transferencia de calor es un proceso complejo que se puede producir por medio de tres mecanismos: conducción, convección y radiación. Aunque estos tres procesos suelen tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos.

En el caso del cuerpo humano (ver figura 1), su elevada actividad metabólica genera gran cantidad de energía térmica, la cual debe disiparse para mantener la estabilidad de los procesos fisiológicos del organismo (Wilmore & Costill, 2007).



**Figura 1.-** Mecanismos de liberación del exceso de calor en el cuerpo humano.

Los mecanismos que tiene el cuerpo para transferir esa energía son: conducción, convección, radiación y evaporación. A continuación explicaremos más detalladamente cada uno de estos mecanismos.

### 1.1.2.1. Transferencia por conducción

La conducción de calor es la transmisión directa de energía térmica entre moléculas cuando estas chocan entre sí. Una molécula que se mueve más rápido (mayor temperatura) transmite parte de su energía a otra que se mueve más lento (menor temperatura) (Serway & Beichner, 2002).

Aunque la conducción se da en todo tipo de sustancias (sólidas, líquidas y gaseosas), es el mecanismo de intercambio de calor más importante dentro de los cuerpos sólidos (Serway & Beichner, 2002).

El núcleo del cuerpo esta aproximadamente a 37 °C, mientras que la piel en reposo tiene una temperatura media que ronda los 34 °C (ASEPEYO, 2005; Lee & Cohen, 2008). El cuerpo humano disipa calor hacia la piel por conducción, mediante la ecuación:

$$Q = \Delta T * \lambda / e = \Delta T * R \quad [1]$$

Donde:  $\Delta T$  = Variación de Temperatura (°K)

$\lambda$  = conductividad térmica del cuerpo humano ( $\lambda = 0,60 \text{ W/m} * \text{ }^\circ\text{K}$ )

e = espesor de la zona que traspasa el calor

R = Resistencia térmica del cuerpo humano.

La conductividad térmica es una característica del material y para la piel humana, epidermis, es similar a la del agua ( $0,60 \text{ W/m} * \text{ }^\circ\text{K}$ ). En la Tabla 1, vemos algunos datos de transmisión de diferentes materiales. Vemos que los metales transmiten, por lo general, mejor el calor que la mayoría de los materiales, pero, incluso dentro de ellos, existen grandes diferencias. Curiosamente, el aire en reposo transmite

peor el calor que la madera. Ejemplos de aislantes del calor son los gases nobles siendo, por ejemplo, el Xenón mucho peor conductor que el aire.

**Tabla 1.-** Valores de conductividad de algunos materiales.

Conductividad de algunos materiales (W / m * °K)						
Cobre	Acero	Ladrillo	Agua	Madera	Aire (rep)	Xenón
401	52	1	0,6	0,14	0,025	0,0051
Mejor Conductor		←—————→			Mejor Aislante	

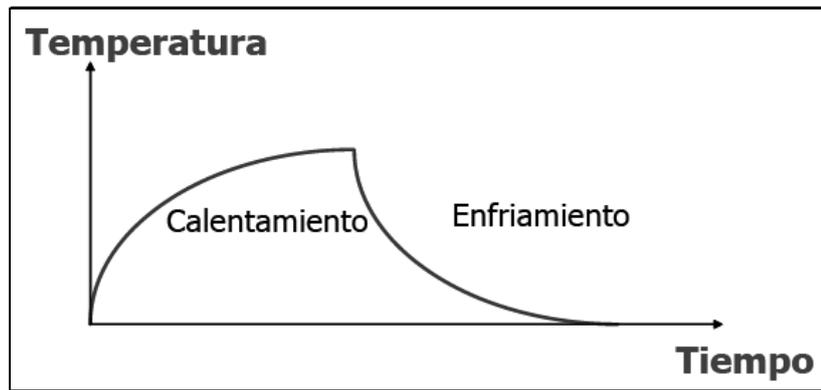
Un ejemplo de conductividad térmica se puede ver en cómo se transmite el calor a través de una cuchara cuando un extremo de la misma se aproxima a una fuente de calor.

En condiciones normales, la transmisión de calor genera un estado estacionario. Lo que sale de un cuerpo debe de entrar en otro para que se mantenga la energía. Si la temperatura de ambos cuerpos en contacto son iguales ( $\Delta t = 0$ ) no se produce transmisión de calor.

Un proceso transitorio es aquel en el que tienen lugar procesos de cambio de temperaturas y de flujo de calor (Sigalés, 2003). Por un lado existe una potencia de calentamiento (del cuerpo de mayor temperatura al de menor) y, por otro, una potencia de enfriamiento (del cuerpo de menor temperatura al de mayor): Si la temperatura de una fuente de calor es mayor que la temperatura de un cuerpo, éste se calentará; sin embargo, si la fuente de calor se extingue, el cuerpo comenzará a enfriarse hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Las tendencias de calentamiento y de enfriamiento son diferentes. Como se puede ver en la figura 2, un cuerpo se calienta de forma distinta a como se enfría.

Las tendencias de calentamiento y de enfriamiento de un material dependerán de su capacidad para almacenar energía térmica. Este concepto es el denominado “calor específico” (Serway & Beichner, 2002).



**Figura 2.-** Dinámica del calentamiento y enfriamiento de un cuerpo (ITC, 2009).

En la tabla 2 se pueden ver algunos valores de calor específico de ciertos materiales. Vemos que el agua almacena bien el calor mientras que el hielo, al tener una estructura más estable, no almacena tanto el calor como el agua. El calor específico de la madera varía en función de su contenido en agua. Por otro lado, aunque los metales transmitan muy bien el calor son incapaces de acumularlo eficientemente.

**Tabla 2.-** Valores de calor específico de determinados materiales.

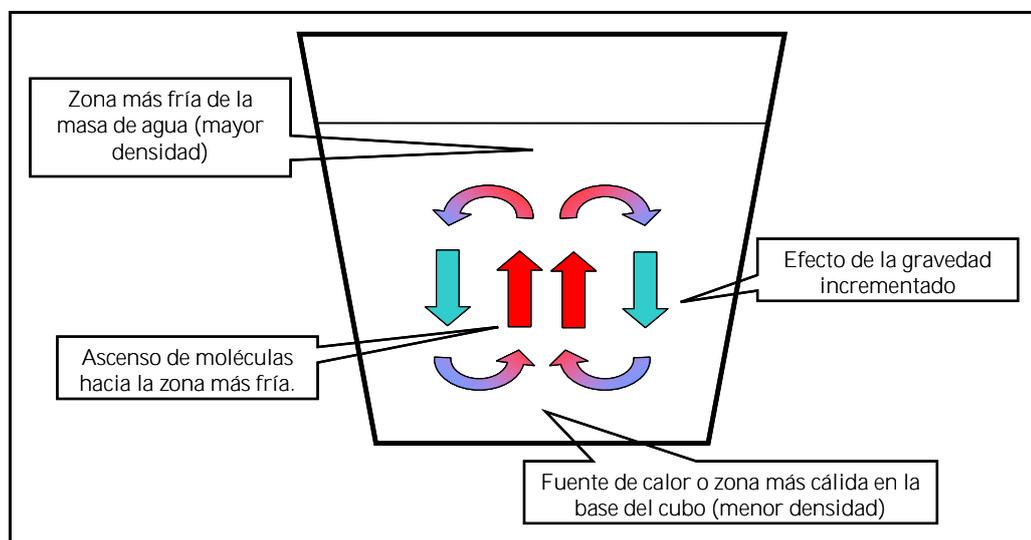
Calor específico de algunos materiales (kJ / kg * oK)						
Agua	Hielo	Madera	Aluminio	Ladrillo	Acero	Cobre
4,18	2,00	1,80 – 2,80	0,90	0,75	0,48	0,39
Mejor Acumulador		←—————→			Peor acumulador	

### 1.1.2.2. Transferencia por convección

La convección es el modo de transmisión de calor a través de un fluido (líquido o gas) que está en movimiento. A diferencia de la conducción, que se realiza entre un fluido y la superficie de un sólido o en la superficie de dos fluidos que no se mezclan, la convección tiene lugar dentro del fluido (Incropera, 1999).

La mayor parte de los gases son invisibles para la cámara infrarroja, por lo que la convección se suele visualizar directamente y únicamente en líquidos, o indirectamente en la superficie de los sólidos.

La figura 3 representa las corrientes de convección en un cubo de agua caliente, donde las zonas más calientes hacen fluir líquido hacia las zonas más frías. A su vez, las masas de agua más frías tienen que ocupar las zonas que dejan vacías el agua caliente que se eleva y, en este caso, el movimiento se ve facilitado por el incremento de la acción de la gravedad generado por la diferencia de densidades (agua fría es más densa que el agua caliente), por lo que también se genera un flujo en sentido de arriba a abajo. El calor no sube siempre. Si la fuente de calor estuviera en la parte superior del cubo, la circulación del agua caliente iría en el sentido contrario (de arriba a abajo). Estas corrientes de convección no se pueden ver a través del recipiente pues, como se verá más adelante, los sólidos bloquean la radiación térmica infrarroja (ITC, 2009).



**Figura 3.-** Circulación por convección en el interior de un fluido.

La transmisión de calor por convección en el cuerpo humano es muy compleja y depende de muchas variables como la diferencia de temperaturas (ambiente y de la piel), la dirección del flujo y la existencia de aire en movimiento (viento) (Incropera, 1999).

Dicha transmisión de calor por convección puede ser natural o forzada:

a) En la convección natural ó libre, el flujo es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de la diferencia de densidad ocasionada por la variación de

la temperatura en los fluidos. En el caso de una superficie vertical, con el aire en reposo, el flujo de calor por convección ( $Q_C$ ) sería de:

$$Q_C = 3,7 * \Delta T \quad [2]$$

Donde:  $\Delta T$  = Variación de Temperatura ( $^{\circ}K$ ).

$Q_C$  = Flujo de calor por convección.

b) Se habla de convección forzada cuando el flujo está favorecido por medios externos, tales como un ventilador, una bomba o vientos atmosféricos. En el caso de que haya viento, la ecuación anterior se modifica de la siguiente manera:

$$Q_{CF} = (3,7 + 3,8 * v) * \Delta T \quad [3]$$

Donde:  $\Delta T$  = Variación de Temperatura ( $^{\circ}K$ ).

$Q_{CF}$  = Flujo de calor por convección forzado

$v$  = Velocidad del viento en m/seg.

### 1.1.2.3. Transferencia por radiación

La transmisión de calor por emisión y absorción de radiación térmica se denomina transmisión de calor por radiación. Para profundizar en el apartado de transferencia de energía por radiación invitamos al lector a la consulta del Anexo I o de obras como las de Serway & Beichner (2002), Incropera (1999), Sigalés (2003) o cualquier otra referencia bibliográfica perteneciente a este campo de la Física.

En la conducción, las moléculas chocan entre sí y se transfieren la energía cinética; en la convección, las moléculas pueden moverse libremente como respuesta a la fuerza de la gravedad o a otra fuerza exterior; sin embargo, la transmisión de calor por radiación no requiere de ningún medio material. En realidad, la transmisión por radiación se transmite en mayor medida en ausencia total de moléculas, o sea, en el vacío. En general, la radiación térmica se transmite con bastante facilidad por los gases

y muy difícilmente por la mayoría de los líquidos y sólidos que llegan incluso a bloquearla (Incropera, 1999).

La radiación térmica es una de las formas de radiación electromagnética. Este último concepto se analizará con más profundidad en el punto; “1.1.3. Métodos ópticos para la medida de transferencia de calor y temperatura”. Los cuerpos emiten radiación térmica como consecuencia de su temperatura: a mayor temperatura, mayor cantidad de radiación térmica será emitida. Sin embargo, cada material tiene una emisividad diferente (Serway & Beichner, 2002).

La radiación térmica sigue la fórmula de Stefan-Boltzmann:

$$Q_R = \sigma * \varepsilon * T^4 \quad [4]$$

Donde:  $\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann =  $5,6704 * 10^{-8} \text{ W/m}^2 * \text{K}^4$   
 $\varepsilon$  = emisividad de la superficie ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ )  
 $T$  = Temperatura de la superficie en  $^{\circ}\text{K}$ .  
 $Q_R$  = Flujo de calor por radiación.

De esta forma, si la temperatura de la piel humana ( $T_C$ ) es  $34^{\circ}\text{C}$  ( $307^{\circ}\text{K}$ ) y, considerando que la emisividad de la piel ( $T_C$ ) es 0,98, en teoría, el calor emitido por radiación sería de:

$$Q_R = \sigma * \varepsilon_p * T_C^4$$

$$Q_R = 5,6704 * 10^{-8} * 0,98 * 307^4 = 452 \text{ W/m}^2 \quad [5]$$

Donde:  $\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann =  $5,6704 * 10^{-8} \text{ W/m}^2 * \text{K}^4$   
 $\varepsilon_p$  = emisividad de la piel humana ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ )  
 $T_C$  = Temperatura de la piel humana en  $^{\circ}\text{K}$ .  
 $Q_R$  = Flujo de calor por radiación.

Sin embargo, si una persona está rodeada por superficies de una temperatura media de “ $T_{SU}$ ”, la emisión por radiación sigue la ecuación:

$$Q_R = \sigma * \varepsilon * (T_C - T_{SU})^4 \quad [6]$$

Por lo tanto, si la superficie del entorno fuera de 24 °C (297 °K), el flujo de reacción sería:

$$Q_R = 5,6704 * 10^{-8} * 0,9 * (307 - 297)^4 = 56 \text{ W/m}^2 \quad [7]$$

Con temperaturas ambiente próximas a 25 °C ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ) la fórmula se puede simplificar a:

$$Q_R = 5.4 * \Delta T \quad [8]$$

Integrando las dos formas de intercambio térmico superficial a través de la piel (por convección y por radiación), nos queda la ecuación:

$$Q_{T_{SU}} = Q_C + Q_R = 3,7 * \Delta T + 5.4 * \Delta T = 9,1 * \Delta T \quad [9]$$

Lo que significa que de la cantidad de energía disipada por la piel, aproximadamente el 60% es en forma de radiación infrarroja y el 40% en forma de convección.

#### 1.1.2.4. Transferencia por evaporación

El cuerpo humano disipa calor mediante la evaporación del sudor y el vapor de agua exhalado en la respiración. Galindez (2010) explica claramente y muy brevemente la diferencia de estos dos fenómenos:

*Evaporación respiratoria ( $E_{res}$ ):* Al inspirar introducimos una cantidad de aire con una determinada presión parcial de vapor de agua, al espirar ese aire se satura en agua. La evaporación respiratoria supone una pérdida de calor para el cuerpo humano, ya que cada litro de agua evaporada supone 49 kcal perdidas. Los intercambios por evaporación respiratoria están en función de:

- La diferencia entre las presiones parciales de vapor de agua del aire ambiente ( $P_a$ ) y el aire espirado ( $P_e$ ).
- La deuda ventilatoria.

*Evaporación Cutánea (E)*: El ser humano para perder calor transpira, con lo que moja su piel formando una capa saturada en vapor de agua, la cual se evapora hacia la atmósfera siempre que el aire ambiente no esté saturado en agua. En un ambiente caluroso si queremos mantener la temperatura necesitaríamos transpirar y evaporar dicho sudor.

Ahora bien, puede suceder que:

- No podamos sudar tanto o, lo que es lo mismo, superemos nuestro límite máximo ( $E_{máx}$ ). Al no perder todo el calor necesario, aumentará la temperatura interna y producirá lo que se conoce como un golpe de calor.
- Perdamos demasiada agua por el sudor provocando que el cuerpo se deshidrate.

Los intercambios por evaporación (E) hacia la atmósfera estarán en función de:

- La diferencia de las presiones parciales de vapor de agua entre la piel y la atmósfera.
- Los factores que influyen los intercambios por convección.

### **1.1.3. MÉTODOS ÓPTICOS PARA LA MEDIDA DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR Y DE LA TEMPERATURA**

La medida de la temperatura resulta de gran interés en multitud de procesos (químicos, ambientales, médicos, mecánicos, etc). Desde antes de Cristo hasta nuestros días se han desarrollado numerosos dispositivos y sistemas de medida de temperatura, y se han pretendido regular o estandarizar las medidas mediante escalas termométricas

muy diferentes, con el objetivo de conseguir mayor reproducibilidad y consenso en su uso.

Por lo general, los equipos de medida de temperatura (termómetros y termoscopios, también conocidos como termómetros diferenciales) se basan en la variación térmica registrada en materiales al entrar en contacto con el cuerpo bajo inspección. Realmente, la construcción de estos instrumentos conlleva una caracterización previa de los materiales o sustancias utilizados, siendo los más indicados aquellos con un comportamiento térmico más regular y lineal.

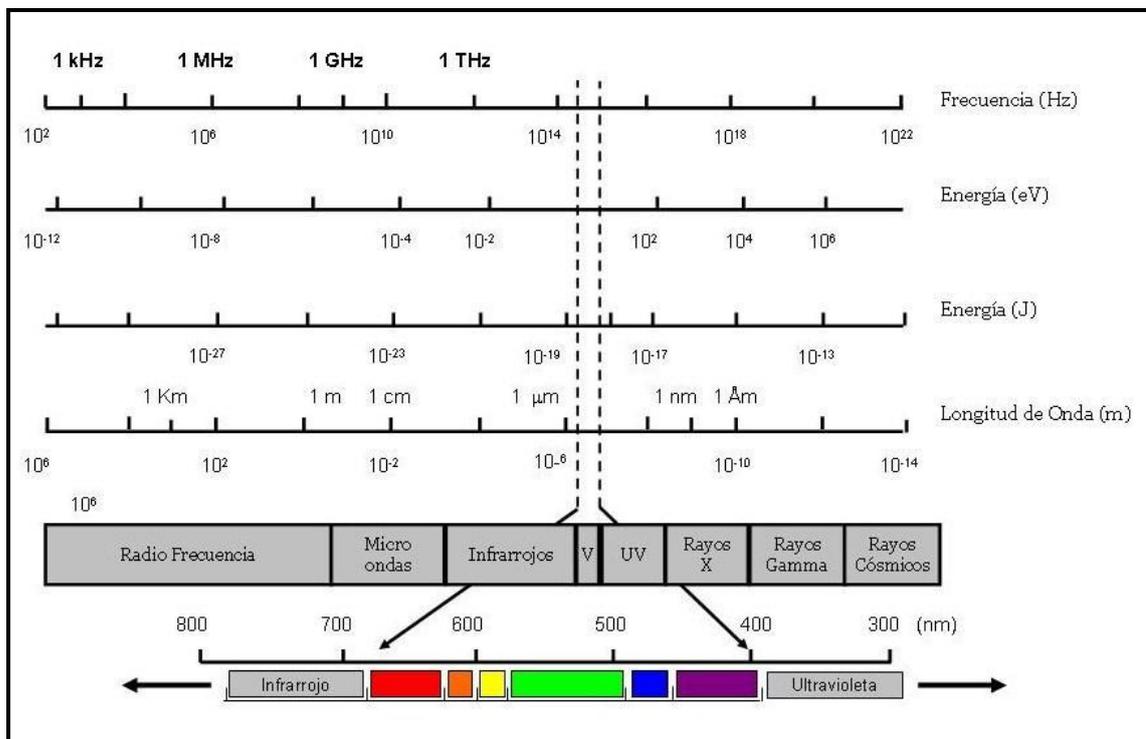
Siguiendo las Leyes de la Termodinámica, al poner en contacto dos cuerpos, el calor (energía) fluye desde el cuerpo con mayor temperatura al de menor temperatura hasta que ambos cuerpos alcancen el equilibrio térmico. El uso de termómetros y termoscopios se trata, entonces, de una medida indirecta en la que la conducción es el principal mecanismo de transferencia de calor. Pero, ¿es siempre necesario el contacto entre los dos cuerpos? ¿Podría medirse una temperatura sin contacto entre ellos? Usar técnicas sin contacto podría resultar de gran interés ya que el objeto puede estar en movimiento, a una gran distancia o estar tan caliente que degradase el termómetro de contacto.

La respuesta a la anterior pregunta pasa por la medida de la radiación que todo cuerpo emite como consecuencia de tener una temperatura. El mecanismo de transferencia de calor llamado radiación, permite la estimación de la temperatura de los cuerpos de forma remota, sin contacto. Esto resulta muy beneficioso al contribuir a que los métodos basados en este mecanismo no sean invasivos. De esta forma, surgen los métodos ópticos o espectroscópicos, basados en la interrelación entre la energía electromagnética y la material.

Los métodos ópticos de medición de la temperatura son inherentes, no invasivos y de aplicación sin contacto. Además, tienen gran sensibilidad, fiabilidad y rapidez, y, por lo general, no alteran la muestra cuando ésta es inspeccionada. La mayoría de estos métodos se basan en principios físicos conocidos desde hace siglos y pueden ser clasificados de acuerdo a cuatro principios básicos: radiación térmica, esparcimiento de

la luz, interacción con la materia y métodos relacionados con cambios en el índice de refracción, entre los que destacan aquellos basados en métodos interferométricos y los que utilizan la deflexión de la luz (González, 2006).

Otra clasificación frecuente divide las técnicas ópticas de acuerdo con la región espectral (figura 4) que interacciona con la materia. Así, se habla de espectroscopia de rayos X, ultravioleta lejano, ultravioleta cercano, visible, infrarrojo cercano y medio, infrarrojo lejano, microondas y radiofrecuencia.



**Figura 4.-** Parámetros del espectro electromagnético. Adaptado de Sidney (1999).

Las longitudes de onda que representan el visible tienen un rango muy reducido. En el ser humano este rango está entre 400 y 750 nm, pero algunos animales pueden ver otras zonas del espectro electromagnético. Las longitudes de onda inferiores al color violeta se denominan “ultravioletas” (UV) y por debajo de los UV se encuentran los Rayos X y los Rayos Gamma.

Por el otro lado, las longitudes de onda superiores al rojo son los infrarrojos, y más allá de estos se encuentran las microondas y las ondas de radio, que pueden tener amplitudes de cientos de kilómetros.

Los rangos de las distintas zonas del espectro que se muestra en la figura 4 no están perfectamente definidos; además, existen subdivisiones dentro de las mismas. Así, por ejemplo, en los infrarrojos, existen 3 subzonas:

- El infrarrojo cercano: que ronda los 1.000 nm (1  $\mu\text{m}$ ).
- El infrarrojo de onda corta: No está nunca por debajo de 2.000 nm, pero puede pasar ligeramente los 5.000 nm (comúnmente 2-5  $\mu\text{m}$ ).
- El infrarrojo de onda media: Se considera entre los 5.000 nm y los 8.000 nm (5-8  $\mu\text{m}$ ). En una imagen termográfica, la atmósfera sería opaca a esta frecuencia, puesto que absorbe toda la radiación en este rango del espectro.
- El infrarrojo de onda larga: Puede estar ligeramente por debajo de los 8.000 nm y puede llegar hasta los 14.000 nm (comúnmente 8-12  $\mu\text{m}$ ). Este es el rango en el que se suelen registrar los métodos ópticos, ya que es el más frecuente en la emisión de los cuerpos que tienen las temperaturas más habituales en la tierra.

El reciente desarrollo y comercialización de láseres, cámaras y sistemas de procesamiento de datos soportados por un software apropiado, ha permitido un renacimiento de estas técnicas y extendido sus posibilidades al análisis cuantitativo de los datos. Entre las técnicas de medición ópticas (metrología óptica) más usadas para termometría se encuentran la pirometría y la termografía.

#### **1.1.3.1. Pirometría**

El origen de la palabra pirometría procede del griego “pyro” que significa “fuego”. Los pirómetros de radiación se clasifican de acuerdo a su principio de medición en: pirómetros de radiación parcial ó pirómetros ópticos, y pirómetros de radiación total.

Los pirómetros ópticos determinan la temperatura de una superficie en base a la Ley de Radiación de Planck considerando un valor de longitud de onda de la radiación emitida por la superficie, mientras que los de radiación total son los que miden la temperatura captando toda o una gran parte de la radiación emitida por el cuerpo en base a la ley de Stefan-Boltzmann.

Los pirómetros ópticos son un método de medida de temperaturas muy elevadas sin contacto, que se basan en una medida de la radiación térmica emitida desde el objeto. Sin embargo, su uso depende del conocimiento del valor de emisividad espectral de la superficie, uno de los parámetros de la ecuación de Planck que debe previamente ser conocido, o se debe suponer, antes de que la temperatura real pueda ser calculada. En la práctica, las condiciones reales de la superficie pueden no ser conocidas, ó pueden estar cambiando debido a oxidación u otros recubrimientos, ó bien la emisividad puede variar con la temperatura del objeto mismo. Esta limitación llega a solventarse usando pirómetros con láser o pirómetros de múltiples longitudes de onda, *dual band o multi wavelength pyrometers* (González, 2006).

### **1.1.3.2. Termografía**

La Termografía Infrarroja (TI) es la técnica de producir una imagen visible como consecuencia de la luz infrarroja invisible (para el ojo humano) emitida por objetos o cuerpos de acuerdo a su condición térmica (Astarita, Cardone, & Carlomagno, 2005). Su origen se remonta a principios del siglo XIX gracias a los experimentos de W. Herschel (1738-1822).

En 1800, Herschel investigó el poder de calor de los rayos del espectro solar descubriendo que la temperatura del termómetro subía cuando cambiaba del violeta al rojo, e incluso más allá del rojo, en una parte donde no había luz aparente; encontró que los rayos calóricos también obedecían las mismas leyes de refracción y reflexión que la luz visible. Sin embargo, fue sólo en los años sesenta (década 1960-1979) cuando se intentó aplicar la termografía infrarroja a la medida de la transferencia de calor (Carlomagno, Astarita, & Cardone, 2002).

Las imágenes visuales proporcionan a través del ojo información sobre el color, la forma, la distancia, posición y movimiento de los objetos. Una gran cantidad de información es, por lo tanto, contenida en una única imagen. El uso de imágenes térmicas permite inspeccionar áreas en lugar de tener medidas puntuales, y representan, un mayor conocimiento en la medida de los procesos que exhiben una alta variabilidad espacial, tales como la temperatura o la transferencia de calor.

La mayor parte de los sensores térmicos (termopares, termorresistores, pirómetros, calorímetros, etc.) sólo permiten una medida puntual (o promediada en el espacio), por lo que limitan la información ofrecida de forma unidimensional (la transferencia de calor que miden o recogen se asume que es perpendicular a la superficie del sensor). En cambio, la TI está basada en imágenes y representa un sistema de medida bidimensional que permite registrar la temperatura de los diferentes puntos de una determinada superficie. Por ello, el desarrollo de la TI se está convirtiendo en una de las herramientas más valiosas de diagnóstico, evaluación y prueba de materiales.

## **1.2. TERMOGRAFÍA INFRARROJA**

Como hemos mencionado en el apartado anterior, la TI se encuentra dentro de los llamados métodos electromagnéticos. Con el término termografía se denominan, en general, todas las técnicas que permiten visualizar la temperatura de la superficie de los objetos, y con el término infrarrojo, a aquellas técnicas que lo hacen a partir de las ondas infrarrojas.

A grandes rasgos, la TI registra, de un modo no invasivo, la interacción entre la radiación infrarroja y el material o cuerpo inspeccionado por medio de dispositivos capaces de captar y medir dicha radiación. La TI genera imágenes infrarrojas bidimensionales, denominadas termogramas, o fotografías del calor que emiten los objetos o cuerpos, en las cuales se puede medir su temperatura.

Antes de profundizar en dicha técnica, y en los mecanismos que la articulan, vamos a hacer un breve repaso por los principales avances tecnológicos que se han producido en la reciente historia de la TI.

### 1.2.1. HISTORIA DE LA TERMOGRAFÍA

El calor y la temperatura han estado relacionados con la historia del hombre ya desde sus orígenes, de hecho, en multitud de ámbitos y actividades cotidianas, uno de los primeros síntomas que revela la existencia de una anomalía o irregularidad es la variación de la temperatura habitual, temperatura que podemos sentir, cualitativamente, a través de la radiación infrarroja desprendida. Aún hoy, existen profesiones como los artesanos del vidrio que utilizan intuitivamente la relación entre la temperatura real de un cuerpo y la radiación que emite para desarrollar su trabajo (Maldague, 2001). Las consideraciones térmicas, sobre todo en el campo de la industria, han ido adquiriendo gran importancia a lo largo de todo el siglo XX.

Hipócrates (siglo V a.C.) es descrito como el primer físico que intentó medir la temperatura humana, colocando barro en el abdomen para comprobar el cambio de color del mismo según se iba secando. También se ha hablado de Sanctorius (1561-1636), un físico italiano contemporáneo de Galileo, como el creador del termómetro basándose en el termoscopio ideado por Galileo.

Desde un punto de vista científico, fue en el año 1800 cuando William Herschell descubrió los rayos infrarrojos. Este modo “invisible” de propagación del calor se denominó, con el tiempo, radiación infrarroja ó radiación térmica formando parte del conjunto del espectro electromagnético y, ubicándose, aproximadamente, entre el color rojo de la región visible y las microondas. Además, tenemos que destacar en este siglo a Carl R. A. Wunderlich (1815-1877), un físico y médico alemán que fue el primero en establecer la medida de la temperatura corporal dentro de una rutina clínica como indicador de fiebre.

A lo largo del siglo XIX y una vez conocida la existencia de estos rayos, el esfuerzo de los investigadores estuvo orientado, prácticamente en exclusiva, a diseñar dispositivos capaces de detectar y cuantificar este nuevo tipo de radiación. Así, podemos destacar la aparición en 1829 del primer termopar, un dispositivo inventado por Nobili que, basándose en el efecto termoeléctrico, permite determinar la temperatura de la superficie de un cuerpo por contacto (López, 2010).

En 1840, el hijo de William Herschel, John, consiguió la primera imagen visible de la radiación infrarroja usando un evaporígrafo.

El bolómetro fue inventado por Samuel P. Langley alrededor de 1880. Era un detector térmico que permitía medir la radiación electromagnética procedente de un cuerpo a partir de los cambios que sufre su conductividad eléctrica debido al calentamiento que genera dicha radiación. Con este instrumento se consiguió sentir el calor de seres vivos a más de 400 metros (Maldague, 2001).

Sin embargo, fue en el siglo XX cuando el progreso de la tecnología infrarroja se aceleró considerablemente gracias, principalmente, al fuerte estímulo que suponían siempre las motivaciones militares. En 1914, durante la Primera Guerra Mundial, las tropas alemanas usaron un sistema de detección térmica para inspeccionar el mar del Norte con un alcance de hasta 10 km con el fin de detectar icebergs, patentándose, de esta forma, el primer sensor infrarrojo para dicho fin (López, 2010). Pero quizás, el impulso más significativo lo causó la Segunda Guerra Mundial; durante los seis años que duró, se desarrollaron multitud de sistemas de detección térmica y se descubrieron nuevas y variadas aplicaciones para la termografía. La puesta en práctica de todas ellas demostró, no sólo el gran potencial de la TI, sino también su utilidad y extraordinaria eficacia. Tras la Segunda Guerra Mundial, buena parte de esta tecnología militar se desclasificó, y los avances experimentados por la TI comenzaron a penetrar en la sociedad civil, fundamentalmente, en el campo de la ingeniería.

En las décadas de los años 60 y 70 se empezaron a recoger los frutos de la investigación realizada sobre la radiación infrarroja. Buena prueba de ello fue el hecho de que, en la Convención de la Sociedad Americana para los Ensayos No Destructivos celebrada en 1965, alrededor del 40% de las comunicaciones presentadas estaban dedicadas a los métodos infrarrojos (López, 2010).

Fue precisamente en estos años, cuando surgieron algunas compañías que iniciaron la comercialización de la tecnología infrarroja, como INFRAMETRICS en Estados Unidos (Boston), o AGA en Europa (Suecia), empresa, esta última, que distribuyó el primer escáner infrarrojo en 1965 y que fue, posteriormente, comprada, al

igual que INFRAMETRICS, por FLIR Systems, principal fabricante de tecnología infrarroja existente en la actualidad (López, 2010).

Podríamos decir que el último gran salto evolutivo se produjo a comienzos de la década de los 80, gracias al desarrollo de los sensores de efecto térmico o microbolómetros. Son detectores que no necesitan ningún tipo de refrigeración y, por tanto, permiten reducir el tamaño y el peso, y también el coste, de los sistemas termográficos (González, 2006). Esta nueva tecnología supuso una mejora considerable en la calidad y el tamaño de las cámaras infrarrojas, capaces de conseguir desde entonces, una mayor resolución espacial sin realizar apenas ruido (Maldague, 2001).

En la década de los 90 emergió con fuerza el concepto de termografía infrarroja cuantitativa (*quantitative infrared thermography*). Este tipo de termografía usa modelos térmicos sencillos para predecir el comportamiento térmico del cuerpo, mejorando el diagnóstico y permitiendo al usuario, además, cuantificar algunos parámetros (Balageas, 2007).

Los medios termográficos actuales han evolucionado considerablemente, convirtiéndose en una tecnología más precisa, potente, rápida, instantánea y sencilla (Diakides & Bronzino, 2007). Además, la investigación en el ámbito de la detección infrarroja está posibilitando, cada vez más, instrumentos de mayor calidad y más económicos, favoreciendo su aplicación en ámbitos, no sólo experimentales, sino de la práctica diaria (Lee & Cohen, 2008).

En la actualidad, la tecnología infrarroja está totalmente implantada en numerosos campos de investigación, como demuestra la existencia de innumerables publicaciones, congresos y conferencias internacionales, dedicadas parcial o íntegramente a la TI. Por citar alguno, podríamos destacar en América la THERMOSENSE CONFERENCE, conferencia anual que empezó a celebrarse en 1978 y, en Europa, la QIRT CONFERENCE, que se realiza, bianualmente, desde 1992. Ambas se ocupan exclusivamente de la tecnología basada en la radiación infrarroja y sus aplicaciones.

### 1.2.2. APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA

En vista de todas las referencias existentes en la literatura y de su tendencia claramente ascendente en los últimos años, no cabe duda del interés que despierta la TI, totalmente asentada e integrada en muchos campos, y son innumerables las aplicaciones que se han desarrollado basadas en esta técnica. Maldague (2001) ordenó la mayor parte de dichas aplicaciones en función del campo de actuación (Tabla. 3).

**Tabla 3.-** Aplicaciones comunes de los procedimientos térmicos no destructivos (Maldague, 2001).

	Aplicaciones
Edificios	Grietas en las paredes, evaluación de la humedad, techos, nivel de líquidos en los tanques de agua estancadas.
Componentes / procesos	Eficiencia del sistema de frenado de los automóviles, inspección de los componentes estructurales de aeronaves, inspección de puntos de soldadura. Degradación del EPROM (Erasable Programable Read-Only Memory). Inspección de tuberías de plástico.
Detección de defectos y caracterización	Corrosión de metales, detección de grietas, decapado, inspección de palas de turbina. Defectos en los adhesivos y juntas soldadas por puntos. Identificación de Crack, la disolución, el impacto de los daños en CFRP. Desgaste de recubrimiento, pruebas de fatiga, detección de grietas cerradas.
Mantenimiento	Ventiladores y compresores, tuberías, líneas de refrigeración, revestimientos. Hornos rotatorios, palas de turbina, instalaciones eléctricas, fugas de gas.
Medicina / Veterinaria	Enfermedades coronarias, reacciones alérgicas, tumores humanos de mama. Reumatología, enfermedades neuromusculares, lesiones de tejidos blandos, varices.
Propiedades	Espesor de la capa de cerámica, propiedades termofísicas, fases del revestimiento de acero, la humedad, caracterización del material anisótropo. Medición de la conductividad térmica de CFRP, fuerzas adherentes, perfiles en profundidad de la conductividad térmica.
Servicios Públicos	Detección de incendios forestales, la localización de personas en incendios o en la noche. Seguimiento del tráfico, detección de objetivos militares.

Actualmente, la TI se utiliza principalmente en el ámbito industrial y de la construcción para, entre muchas otras aplicaciones, el mantenimiento eléctrico y de motores, la detección de fugas de calor ó humedad, ó la investigación y desarrollo de productos aislantes (Lyon, 2004; Sham, Chen, & Long, 2008; Viale et al., 2007).

La termografía se utiliza también en el ámbito de veterinaria para la detección de patologías en animales y, en el ámbito médico, para el diagnóstico de cáncer de mama o de piel, la evaluación de las operaciones de injerto, ó la evaluación forense y localización de puntos de dolor (Autio, Neste, Airaksinen, & Heiskanen, 2006; BenEliyahu, 1992; Gautherie, Haehnel, Walter, & Keith, 1987; Isard, Becker, Shilo, & Ostrum, 1972; Kulesza, Rzczkowski, & Kaczorowski, 2004; Leclaire et al., 1996; Ng & Acharya, 2009; Turner, 1991).

En relación con este último ámbito mencionar que, en los años 80, se utilizaban unas rudimentarias cámaras infrarrojas para el diagnóstico de patologías y lesiones musculares (Busoni, Romagnoli, Bagnolesi, & Gemignani, 1988; Devereaux, Parr, Lachmann, Page-Thomas, & Hazleman, 1986; Devereaux, Parr, Lachmann, Page-Thomas, & Hazleman, 1984; Garagiola & Giani, 1990; Keyl & Lenhart, 1975) que fueron sustituidas, a finales de los 80 y en los 90, por métodos más novedosos, eficaces y objetivos de diagnóstico como la resonancia magnética, los rayos X y la ecografía, por lo que la investigación del uso de la termografía en el ámbito de la medicina se aparcó y, con ello, el uso de dichas cámaras en este campo (Berz & Sauer, 2007).

Sin embargo, los medios termográficos actuales han evolucionado considerablemente, convirtiéndose en una tecnología más precisa, potente, rápida, instantánea y sencilla que, aún no siendo tan objetiva como otros métodos a la hora de diagnosticar patologías en el funcionamiento de los sistemas del cuerpo humano, sí puede ser lo suficientemente precisa y fiable para usarla como una herramienta complementaria donde se obtenga información del equilibrio térmico corporal que, a priori, deberían tener las estructuras musculo-esqueléticas en un estado natural y sano. La asimetría térmica en las zonas corporales puede ayudar a detectar tempranamente sobrecargas y fatigas músculo-esqueléticas, y por lo tanto, ayudar a prevenir lesiones en

personas que practican actividad física y deporte (Gómez, Sillero, Noya, & Pastrano, 2008a; Sands, McNeal, & Stone, 2011).

#### **1.2.2.1. Utilización de la Termografía en el ámbito industrial y de la construcción**

El término ensayo térmico no destructivo (*thermal non destructive testing*, TNDT) se refiere internacionalmente a la detección de defectos subsuperficiales en materiales y, en determinados lugares como en Rusia, también alude al mantenimiento de edificios e incluso a algunas prácticas médicas (López, 2010). Podría decirse que la aplicación más extendida de la TI y por la que se la conoce en el mundo de la investigación, es la localización de lesiones ocultas en la estructura interna de un objeto o material.

De hecho, la primera aplicación industrial registrada, si nos limitamos al campo de los ensayos no destructivos, fue la inspección de la uniformidad de temperaturas en piezas de acero, propuesta por J.T. Nichols en 1935 (Maldague, 2001). Posteriormente, a finales de la década de los 40, R.C. Parker y Marshall, en 1948, la usaron para analizar la distribución de temperaturas en las zapatas de freno; Gorrill, en 1949, para comprobar las juntas soldadas de las latas de conserva y, en el mismo año, Leslie y Wait para examinar las líneas de transmisión de energía (Maldague, 2001).

A mediados de los años 60, a raíz de la desclasificación de la tecnología militar y la comercialización de equipos termográficos, sus aplicaciones se comenzaron a extender por numerosos y variados campos. En esos años se utilizó, principalmente, para comprobar la existencia de calentamientos en componentes electrónicos (Maldague, 2001). Durante la década de los 70 se comenzó a aplicar en la inspección de edificios, como en Alemania y Noruega y, a partir de los 80, su uso se fue concentrando en el control de las instalaciones eléctricas y en tareas de mantenimiento, sobre todo, en plantas industriales (López, 2010).

Hasta fechas relativamente recientes, todas estas aplicaciones se basaban en la utilización de la TI en modo pasivo, sobre elementos que por sí mismos generan calor o

un flujo del mismo por su propia naturaleza o funcionamiento. La termografía activa (cuando el operador produce una estimulación del sistema observado con el objetivo de identificar parámetros del mismo a través de un análisis comparativo de los estados antes y después de la estimulación) se empezó a manejar aproximadamente en los años 60, generalmente para la investigación de las propiedades termofísicas de los materiales (Cowan, 1963; Parker, Jenkins, Butler, & Abbot, 1961; Penniman, 1965; Watt, 1966).

Algunas de las aplicaciones desarrolladas en los últimos años en el campo de la edificación son:

- La inspección de estructuras históricas (Avdelidis & Moropoulou, 2004).
- Peritación de la integridad de estructuras y materiales estructurales (Titman, 2001; Weritz, 2005).
- Diagnóstico de edificios (Avdelidis, Moropoulou, & Theoulakis, 2003; Bairi, 2007; Balaras & Argiriou, 2002).
- Análisis de la fatiga de materiales (Luong, 1995).

A nivel europeo se ha estandarizado, incluso, el procedimiento para la inspección térmica de los revestimientos de un edificio con métodos termográficos en la norma EN 13187: 1998. *“Thermal performance of buildings-Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes-Infrared method”*.

#### **1.2.2.2. Utilización de la Termografía en el ámbito médico**

En el sector médico la TI comenzó a utilizarse como tal en Alemania en 1952. Fueron los científicos Shwamm y Reeh quienes desarrollaron un detector infrarrojo para la medida secuencial de temperatura corporal (Berz & Sauer, 2007). A partir de ese momento se desarrollaron diferentes dispositivos electrónicos de medida de la radiación infrarroja, conocida como termografía de contacto, con dispositivos de cristal líquido y termómetros electrónicos.

Las primeras cámaras infrarrojas, aunque muy rudimentarias, fueron muy importantes dentro del mundo de la medicina, puesto que eran capaces de registrar temperaturas sin necesidad de contacto. En cambio, es necesario decir que tenían grandes carencias en lo que respecta a la resolución térmica y geométrica, o en otros factores como la estabilidad y la exactitud de la medida o reproducibilidad, y tenían un coste muy elevado para su uso en la clínica práctica.

Durante los años 80 se utilizaron unas cámaras infrarrojas mejoradas (ejemplos; la cámara Zeiss Icotherm 1985 o la AGA 680 medical) para el diagnóstico de patologías y lesiones musculares (Devereaux et al., 1984). Sin embargo, y dado que el principal objetivo era el de diagnosticar, los especialistas se decantaron por tecnologías emergentes como los rayos X, los dispositivos de ultrasonido o la resonancia magnética, tecnologías que aportaban una mayor exactitud, rigurosidad y eficiencia a la hora de diagnosticar. Consecuentemente, la investigación en el uso de la termografía en el ámbito de la medicina y fisioterapia deportiva se apartó y, con ello, el uso de dichas cámaras en este ámbito (Sillero & Gómez, 2010).

No obstante, la TI se sigue aplicando en la actualidad para múltiples objetivos dentro del ámbito médico, entre los que podríamos destacar:

- Detección y diagnóstico de cáncer de mama (Isard et al., 1972; Markel & Vainer, 2005; Ng, 2009) y del cáncer de piel (Santa Cruz, González, Bertotti, & Marín, 2009).
- Localización de patologías cardiovasculares y neurológicas (Tham, Silke, & Taylor, 1990).
- Localización de puntos de dolor (Ribera, 2008).
- Monitorización evolutiva de la anestesia local en extremidades (Werdehausen et al., 2007).
- Valoración de la gravedad de quemaduras (Rumiński, Kaczmarek, Renkielska, & Nowakowski, 2007).
- Monitorización de la evolución de injertos y úlceras (Manginas et al., 2010).

- Apoyo en cirugías a corazón abierto (Song, Tang, Campbell, & Cuschieri, 2009).
- Documentación objetiva de determinadas dolencias, sobretodo en medicina forense (Kempińska-Podhorodecka, Szydłowski, Knap, & Parafiniuk, 2007).
- Dermatología o detección de varices (Di Carlo, 1995).

En los años 2009 y 2010 la TI se hizo popular por su utilización como medida preventiva en la detección de personas con síntomas de gripe A (principalmente fiebre) en los aeropuertos y otros lugares públicos (Ring, Mcevoy, Jung, Zuber, & Machin, 2010).

### **1.2.2.3. Utilización de la termografía en el ámbito deportivo**

Como se ha dicho anteriormente, los medios termográficos actuales han evolucionado considerablemente, convirtiéndose en una tecnología más precisa, potente, rápida, instantánea y sencilla, que aún no siendo tan objetiva como otros métodos como la resonancia, el ultrasonido o los rayos X a la hora de diagnosticar trastornos en el funcionamiento de los diferentes sistemas del cuerpo humano, sí es lo suficientemente precisa y fiable como para trabajar con ella en el ámbito deportivo con otro objetivo bien diferente: valorar la asimilación de la carga de ejercicio físico realizado por los deportistas, a fin de utilizar la información obtenida de estas valoraciones en la aplicación de protocolos de prevención y seguimiento de lesiones (Gómez et al., 2008a; Sands et al., 2011).

La TI en el ámbito de la actividad física y deporte apenas ha tenido transcendencia, y los trabajos existentes son bastante escasos y procedentes todos ellos del ámbito médico. En relación con el deporte de alto rendimiento, los primeros trabajos se realizaron en la década de los 70 por el grupo de investigación de la Orthopädischen Universitätsklinik München de Alemania (Keyl & Lenhart, 1975) y en la década de los 80 tomó el relevo el grupo de investigación del Hospital Addenbrooke's de Cambridge (Devereaux et al., 1986; Devereaux et al., 1984).

No fue hasta entrada la década de los 90 cuando grupos de investigación como el del Johns Hopkins Medical Institutions de Baltimore en Maryland (Uematsu, Edwin, Jankel, Kozixowski, & Trattner, 1988), el de Selden Hospital en New York (BenEliyahu, 1990, 1992) y el del C.A.M. Sport de Monza en Italia (Garagiola & Giani, 1990, 1991; Giani, Rochi, Tavoni, Montanari, & Garagiola, 1989) empezaron a investigar con profundidad en poblaciones de deportistas. La mayoría de los estudios relacionados con la termografía en el ámbito del deporte son bastante antiguos y concluyen que éste método es de gran ayuda para el diagnóstico de lesiones y que parece ser una herramienta ideal para controlar la evolución de las lesiones y la eficacia del tratamiento de estas (Busoni et al., 1988; Devereaux et al., 1986; Devereaux et al., 1984; Garagiola & Giani, 1990; Giani et al., 1989; Keyl & Lenhart, 1975). Todos estos estudios se realizaron siempre desde el ámbito medico con el objetivo de diagnosticar lesiones o patologías.

Desde mitad de la década de los 90 hasta estos últimos años, la investigación en el ámbito del deporte ha disminuido considerablemente, destacando exclusivamente los avances en investigación hechos en el sector de la veterinaria, concretamente en el ámbito de la hípica de competición, con el objetivo de detectar patologías en caballos de carrera (Autio et al., 2006; Ciutacu, Tanase, & Miclaus, 2006; Kulesza et al., 2004; Turner, 1991).

No es hasta el 2007 cuando grupos de investigación como el de la Universidad de Ljubijana (Eslovenia) (Čoh & Širok, 2007) y el grupo de investigación pemaSiP de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (Universidad Politécnica de Madrid) (Gómez, Sillero, Noya, & Pastrano, 2008b) comienzan a investigar sobre la aplicación de la TI sin un fin diagnóstico. Es precisamente en este punto en el que la termografía abre las puertas al sector de la actividad física, el deporte y sus profesionales de una forma innovadora y práctica.

El grupo de trabajo de la Universidad Politécnica de Madrid rescata la TI para darle una nueva perspectiva de aplicación: la de valoración, prevención y seguimiento de lesiones en personas practicantes de actividad física y deportiva con el fin de mejorar su salud, su calidad de vida y su rendimiento.

En sus trabajos tratan de utilizar la TI para la valoración de la asimilación de la carga de ejercicio físico realizada por el sujeto con el objetivo de prevenir lesiones o, si ya se han producido, realizar el seguimiento de éstas con el fin de mejorar los programas de recuperación y reentrenamiento previos a la incorporación de la actividad normal del deportista o persona lesionada (Gómez, Sillero, & Fernández, 2010).

El fundamento del trabajo es que las imágenes hipertérmicas aparecen cuando existen procesos inflamatorios, incluso desde los primeros estadios de los mismos (Thomson, 2002). El incremento de la temperatura está originado por un incremento del flujo sanguíneo y/o una mayor actividad metabólica celular debida a la regeneración de la zona afectada (Mangine, Siqueland, & Noyes, 1987). Estos procesos fisiológicos suceden principalmente en las estructuras musculo-esqueléticas después del ejercicio o de la actividad física, y durante la recuperación, permitiendo una reparación y adaptación de éstas al post-ejercicio (Barnett, 2006; Lapointe, Fremont, & Côte, 2002). Por lo tanto, el mantenimiento o incremento de estos procesos a lo largo del tiempo es un signo de una incompleta recuperación de la estructura corporal después del ejercicio.

El sistema de trabajo debe evaluar la zona corporal comparándola con la contralateral para poder establecer diferencias de temperaturas y determinar zonas de temperatura elevada. La cantidad y localización de alteración térmica depende de la intensidad del fenómeno fisiológico que esté ocurriendo, y del tamaño y profundidad del tejido involucrado. La termografía no revela alteraciones anatómicas, sino el estado de los tejidos (Garagiola & Giani, 1990).

Por supuesto, en el sector de la investigación aún se continúa profundizando en el funcionamiento de la TI para ampliar los usos y aplicaciones de la misma o mejorar los ya existentes.

### **1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EVALUACIÓN TERMOGRÁFICA DEL CUERPO HUMANO**

La interpretación de una imagen termográfica está sujeta a diversas variables y factores que pueden influir de una manera notable en las conclusiones que obtengamos; por esa razón, hemos de ser capaces de identificar cuáles son dichas variables o factores que pueden entorpecer la labor de interpretación.

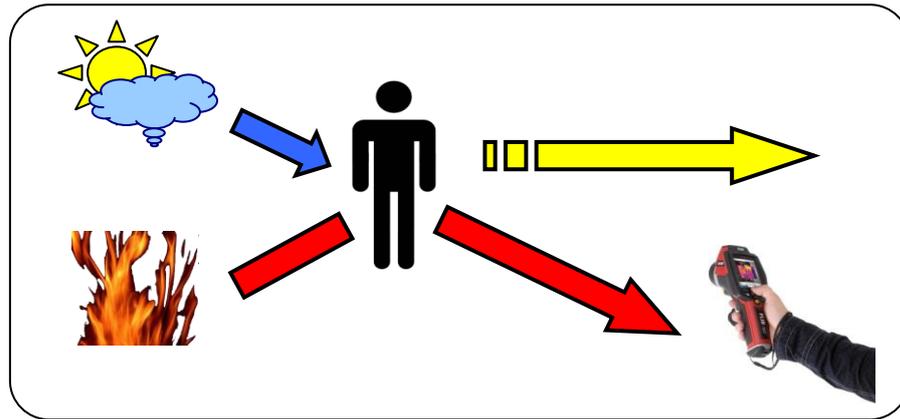
En primer lugar, hemos de subrayar el hecho de que las imágenes de TI no nos dan información sobre la temperatura de los objetos o personas, sino una representación de las radiaciones emitidas por los mismos. Apoyándonos en este punto y en toda la bibliografía consultada se han dividido los factores que influyen en la evaluación en tres grandes grupos:

- Factores naturales.
- Factores artificiales.
- Factores deportivos.

#### **1.3.1. FACTORES NATURALES**

Entendemos por factores naturales como “aquellos que están en el entorno de una manera natural y que son propios tanto del contexto como de los objetos o seres que aparecen” (Fernández, Gómez, & Sillero, 2010). A la hora de utilizar una cámara termográfica, normalmente, estas están programadas para estimar la temperatura utilizando una función en la que entran en juego unas variables o factores que aquí denominamos naturales, ver figura 5. Dichos factores podemos agruparlos en los siguientes grupos:

- Radiación emitida.
- Radiación reflejada.
- Variables atmosféricas.



**Figura 5.-** Representación de los factores naturales que inciden en la evaluación termográfica (Fernández, Gómez, & Sillero, 2010).

La teoría explica que la radiación saliente de un objeto está compuesta por tres conceptos (Serway & Beichner, 2002):

- Radiación emitida, o emisividad  $\epsilon$  (epsilon).
- Radiación reflejada, o reflectividad  $\rho$  (rho).
- Radiación transmitida, o transmisividad  $\tau$  (tau).

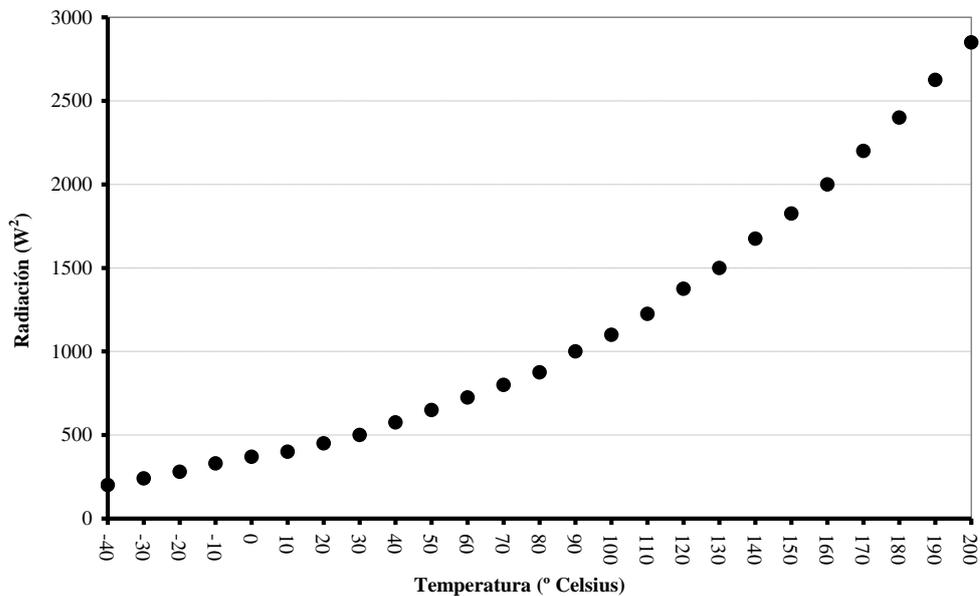
La suma de los tres conceptos en un cuerpo es igual a uno, Ley de Stefan-Boltzmann de la radiación térmica emitida por un cuerpo negro (Serway & Beichner, 2002):

$$\epsilon + \rho + \tau = 1 \quad [10]$$

Normalmente, al trabajar con cuerpos opacos, la transmisividad es igual a 0, puesto que dicha radiación es la que un cuerpo deja pasar a través de sí. Consecuentemente, los conceptos de los que dependerá la radiación recibida por la cámara serán la emisividad y la reflectividad.

### 1.3.1.1. Radiación Emitida

La variable que más se tiene en cuenta en una evaluación termográfica es la emisividad. La emisividad es la capacidad que cada objeto tendrá de emitir radiación infrarroja (Anbar, 1987). No todos los objetos emiten el 100% de lo que deberían, si así fuera, la señal infrarroja que sería capaz de captar una cámara estaría relacionada directamente con la temperatura, siguiendo la Ley de Stefan-Boltzmann, que relaciona directamente la temperatura con la energía irradiada (Figura 6).



**Figura 6.-** Ley Stefan-Boltzmann en la que se relaciona la radiación infrarroja con la temperatura (Serway & Beichner, 2002).

El cuerpo que mejor emite es el catalogado como “cuerpo negro”, que tiene un valor de emisividad cercano a 1, una emisividad casi perfecta; lo que significa que dicho cuerpo tiene un valor de reflectividad cercano a 0, por lo que la radiación captada por la cámara proporcionará información de la temperatura de dicho cuerpo, y no de la reflejada (Diakides & Bronzino, 2007).

Por esa razón, cuanto mayor sea la emisividad, menor influencia tendrá la radiación reflejada y mayor fiabilidad tendrá la medición infrarroja. Por el contrario, cuanto menor sea la emisividad, más importancia cobrará la reflectividad del entorno, y los valores serán menos fiables. La piel humana tiene una alta emisividad, que varía, según Hardy (1939), entre los valores de  $\epsilon = 0,95 - 0,98$ , mientras, un material con baja

emisividad es el aluminio ( $\epsilon = 0,05$ ), es decir, apenas es capaz de emitir, y lo que recoja la cámara infrarroja provendrá principalmente de la radiación que refleje.

Por todo ello, será necesario reconocer dichas variables para introducirlas correctamente en la cámara a la hora de medir y, de esa manera, compensar la influencia de cada una y obtener la temperatura correcta.

### 1.3.1.2. Radiación Reflejada

La segunda variable será la radiación reflejada, es decir, aquella radiación que el cuerpo refleja, como imagen en un espejo. La principal variable que vamos a tener en cuenta dentro de este factor será la *temperatura aparente reflejada*, es decir, la temperatura aparente de los objetos que se reflejan en el cuerpo que se está midiendo (Lee & Cohen, 2008). En este caso, hemos de tener en cuenta que este valor cobra mucha importancia, puesto que normalmente los cuerpos reflejarán la temperatura del entorno, valor que interferirá directamente en nuestra estimación.

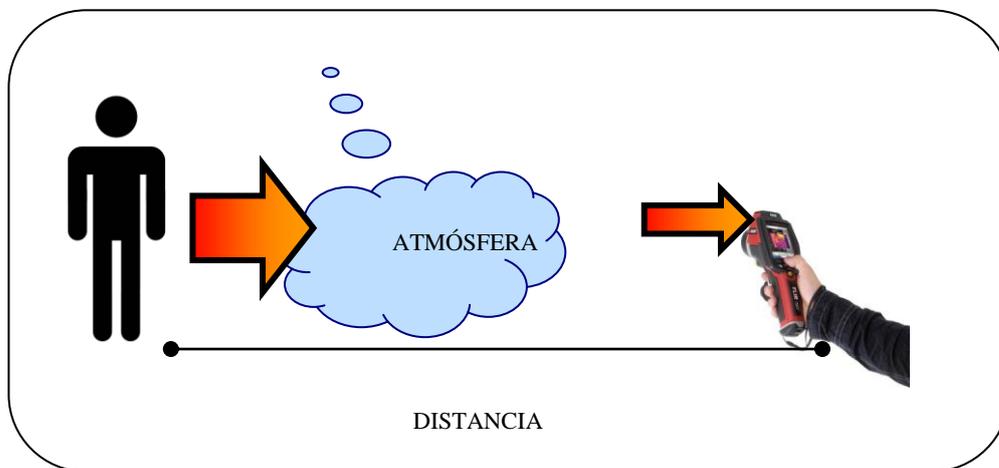
A menudo la medida de este parámetro crea bastante confusión, en parte porque su nombre es algo ambiguo. Muchas cámaras utilizan el nombre T-ambiente, ó Tamb., lo que ha provocado que pueda confundirse con la temperatura del aire alrededor del objetivo, alrededor de la cámara, ó entre los dos. Utilizar el nombre T-entorno también produce confusión, porque no se describe bien qué se entiende por entorno (ITC, 2009).

Cuanto mayor sea la reflectividad, mayor será la influencia de la temperatura aparente reflejada. En elementos como el aluminio, si esta variable no se controla correctamente, las mediciones nos podrán llevar a error, puesto que lo que recogerá la cámara será la radiación de los objetos de alrededor, y no la temperatura del objeto de aluminio. Aún así, la cámara es capaz de corregir dicho “engaño”, siempre y cuando se introduzcan correctamente los valores de emisividad y temperatura aparente reflejada.

### 1.3.1.3. Variables atmosféricas

Como ya se ha evidenciado, a la hora de trabajar con la TI, debemos tener en cuenta múltiples variables si queremos realizar un análisis correcto. Dentro de los factores naturales, hemos de tener en cuenta las variables atmosféricas que pueden influir en la exactitud de nuestras medidas:

- En primer lugar, la *atmósfera* es un cuerpo que transmite su propia radiación entre el cuerpo y la cámara. Además, la atmósfera deja pasar gran parte de la radiación procedente del cuerpo, pero absorbe una pequeña parte de la radiación saliente de este último, por lo tanto, hay una pequeña pérdida cuando la radiación saliente del cuerpo atraviesa la atmósfera. Ambos componentes, la parte emitida por el cuerpo y la parte que es reflejada del entorno, son igualmente afectados por la atmósfera (Ammer, 2008). Esta variable se corrige en las cámaras termográficas introduciendo en estas el dato de *distancia* (Figura7).



**Figura 7.-** Representación de la importancia de la distancia y la atmósfera en la radiación.

- El otro efecto que tiene la temperatura del aire está relacionado con la *humedad relativa*. Una de las causas por las que el aire es capaz de absorber un poco de la radiación emitida por los objetos, se debe al vapor de agua que contiene (Serway & Beichner, 2002). Por consiguiente, lo que nos importa es la cantidad absoluta de moléculas de agua en la atmósfera – el

número real de moléculas que tiene que atravesar nuestra radiación es lo que nos dice qué dificultad se encontrará -. Sin embargo, la humedad relativa por sí misma no nos dice cuánta agua hay en el aire, pues depende de otros factores conjugados, como es la temperatura (ITC, 2009).

- La *temperatura del aire* es otra variable atmosférica a tener en cuenta dada su variabilidad e influencia térmica en todos los objetos. A priori, podemos destacar dos grandes efectos de la temperatura. En primer lugar, la radiación de la atmósfera en sí misma es una de ellas. A mayor temperatura del aire, más influencia de radiación tendrá la atmósfera. Por esa razón, varios estudios recomiendan que para que esa influencia no sea mucha, la toma de imágenes se realice entre 18°C y 25°C, sin variaciones en la toma de más de un grado (IACT, 2002; Ring & Ammer, 2000). En muchas de las cámaras, una de las variables a incluir será dicha temperatura.

### 1.3.2. FACTORES ARTIFICIALES

Llamamos a estos factores artificiales, porque a diferencia de los anteriores, nos referimos a una serie de aspectos que influyen en los cuerpos medidos, porque afectan a su capacidad de emisividad; y en la imagen tomada, porque alteran los resultados y hacen más difícil su evaluación (Fernández, Gómez, & Sillero, 2010).

Sin embargo, y a diferencia de los naturales, la gran ventaja de los factores artificiales es que el hecho de conocerlos supone que podemos controlarlos y evitarlos a la hora de tomar la imagen. En este apartado, y teniendo en cuenta que nos centraremos en la termografía deportiva, hablaremos sobre los factores que afectan al ser humano primordialmente. Los agruparemos en tres grandes grupos de variables:

- Variables de ingesta
- Variables de aplicación cutánea
- Variables terapéuticas

### 1.3.2.1. Variables de ingesta

Englobamos en este grupo todas aquellas variables que influyen en la emisividad de la persona por la ingesta o toma de alguna sustancia. En general, el principal efecto que tienen estas variables para que tengamos que tenerlas en cuenta es la influencia que supone su ingesta en la emisividad de radiación por parte de la persona, en gran medida por un descenso o anomalía en la irrigación cutánea, responsable como una de las principales causas de las emisiones de radiación que la cámara capta y traduce en temperatura.

- Una de las primeras variables es la *ingesta de alcohol* (Mannara, Salvatori, & Pizzuti, 1993), *café* y *té* (Quinlan, 1997; Tagliabue, 1994), que según estos autores altera el flujo de sangre y consecuentemente incidirá en la radiación que emiten las zonas evaluadas.
- Existen varios estudios que hablan sobre la influencia de la *nicotina* y el *tabaco* en las evaluaciones con termografía (Gershon-Cohen, Borden, & Hermel, 1969; Gershon-Cohen & Haberman, 1968). Se demuestra que la toma de nicotina influye directamente en el flujo sanguíneo superficial, haciendo posible que la temperatura cutánea aumente (Akkurt, 2009; Paulson, 2010; Usuki, Kanekura, Aradono, & Kanzaki, 1998).
- Otra variable a tener muy en cuenta es la ingesta de *medicamentos* y/o drogas. Evidentemente, no todos los fármacos tienen un efecto térmico sobre el paciente, pero está demostrado que algunos de los medicamentos que inciden sobre el sistema cardiovascular, inciden en la vascularización de la piel, y consecuentemente en la temperatura cutánea y radiación infrarroja que emite la piel (Lecerof, Bornmyr, Lilja, De Pedis, & Hulthen, 1990; Ring & Phillips, 1984; Ring, Porto, & Bacon, 1981; Tham et al., 1990). Por esa razón, es conveniente informarse sobre si la persona evaluada toma algún tipo de medicamento o droga para tener en cuenta que esa podría ser una de las razones de una imagen termográfica distorsionada o imprecisa.

- Por último, la ingesta de *comidas copiosas* o determinados alimentos, como pueda ser el azúcar, provoca un aumento del consumo de oxígeno, de la temperatura corporal y de la temperatura local en determinados órganos, sobretodo los más profundos (Federspil et al., 1989; Reinberg, 1975; Shlygin et al., 1991).

### 1.3.2.2. Variables de aplicación cutánea

Este grupo de variables es de especial importancia tenerlas en cuenta, puesto que influyen notablemente en la radiación que emite la piel, y son difíciles de detectar. Obviarlas puede suponer un mal análisis de una imagen termográfica. Las variables de implicación cutánea se dividen en dos grandes grupos:

- El primero de ellos concierne a variables de aplicación cutánea, como son los *cosméticos*, las *cremas*, los *geles* o cualquier tipo de tratamiento cutáneo. Estas variables son relevantes para el análisis de una imagen termográfica porque actuarán como filtro sobre la piel, distorsionando la radiación de la misma e influyendo en la emisividad, y consecuentemente, en la representación que la cámara termográfica hará de la temperatura del cuerpo evaluado (Ammer, 1997; Hejazi & Anbar, 1993).
- Y en segundo lugar encontramos una variable muy común, que es la que concierne a la exposición de la piel a *rayos solares* durante periodos prolongados, o tratamientos con *rayos UVA*. En este caso, el efecto distorsionador viene provocado por un aumento antinatural de la temperatura de la piel por una radiación, lo cual puede influir en la radiación de la piel y distorsionar el análisis termográfico posterior (Harrison, Young, & McMahon, 2004).

En ambos casos, el principal riesgo radica en el hecho de que en muchas ocasiones, tanto cremas como rayos *UVA* o solares tienen efectos distorsionadores que,

a priori, son difícilmente perceptibles. Esto puede darse bien porque ya hayan sido en parte absorbidos por la piel, o porque sea difícil identificarlos.

Siempre es recomendable interrogar al sujeto que será evaluado antes de la adquisición de la imagen, para saber con certeza si se ha aplicado algún tipo de crema o producto, o si ha tomado el sol o algún tratamiento con rayos *UVA* sobre la piel de la zona evaluada, y así tener en cuenta la posible distorsión en la radiación que va a sufrir dicha zona corporal (Fernández, Gómez, & Sillero, 2010).

### 1.3.2.3. Variables terapéuticas

A este tercer grupo de variables, las denominamos terapéuticas puesto que serán identificadas como las distorsiones o anomalías que una terapia sobre la piel pueda suponer en la radiación que esta emita, y que posteriormente es registrada por la cámara termográfica (Fernández, Gómez, & Sillero, 2010).

En el ámbito deportivo, estas variables habrán de ser tenidas especialmente en cuenta por lo usual de su utilización. En este sentido, encontramos en el ámbito científico múltiples estudios que han profundizado sobre la influencia de las diferentes terapias que utilizan el contacto físico sobre la piel y su influencia en la termografía. Entre las diferentes terapias encontramos:

- La **electroterapia** es una disciplina que se engloba dentro de la fisioterapia y se define como el arte y la ciencia del tratamiento de lesiones y enfermedades por medio de la electricidad (R.A.E, 2001). Aunque actualmente la tecnología ha desarrollado numerosos aparatos para la aplicación de la electroterapia sin correr riesgos de efectos secundarios, diversos estudios han demostrado su influencia en la termografía al aumentar la temperatura corporal (Danz & Callies, 1979; Mayr, Thür, & Ammer, 1995; Rusch & Kiesselbach, 1984).
- La terapia con **ultrasonido** consiste en vibraciones mecánicas de alta frecuencia (entre 0,5 y 3 MHz) que deben aplicarse a través de una sustancia

mineral como la vaselina o gel conductor para facilitar su propagación en el organismo. Desarrollan una acción fibrolítica, térmica y vasodilatadora, por lo que están indicados para tratar ciertos reumatismos y neuralgias, artrosis, edemas, cicatrices hipertróficas y adherencias de tejidos. A través de esta terapia se produce un aumento de la temperatura que puede identificarse y captarse a través de la termografía (Danz & Callies, 1978).

- La **termoterapia** es una disciplina que se engloba dentro de la fisioterapia, y se define como el arte y la ciencia del tratamiento mediante el calor de enfermedades y lesiones (R.A.E, 2001). El calor terapéutico puede ser aplicado por radiación, conducción o convección utilizando para ello diversos métodos. Desde nuestra perspectiva, dicha terapia incide directamente sobre el aumento de la temperatura cutánea -incluso se utiliza la radiación infrarroja como método para dar calor- y por tanto, puede perturbar notablemente una evaluación termográfica posterior a un tratamiento de termoterapia (Ammer, 1996; P. Goodman, Foote, & Smith, 1991; Rathklob, Schartelmüller, Hein, & Ammer, 1991).
- La **crioterapia** es la disciplina que utiliza el frío para el tratamiento de dolencias, traumatismos o patologías, es decir, terapia basada en el empleo de bajas temperaturas (R.A.E, 2001). Será también interpretada como una terapia que incide en el descenso de la temperatura de la piel y, por lo tanto, podrá perturbar la evaluación termográfica posterior, tal y como indican múltiples estudios (Ammer, 1996; P. Goodman et al., 1991; Rathklob et al., 1991).
- Aquello que entendemos por **masaje**, en el ámbito terapéutico es llamado masoterapia, y es entendido como la técnica que aglutina diferentes tipos de masaje para el tratamiento de enfermedades y lesiones (R.A.E, 2001). En este caso, habremos de tenerlo en cuenta porque en su aplicación, se estimula la piel a través de una fricción que aumenta la temperatura de la piel y puede dar pie a aumentos de la temperatura que distorsionen el estado

térmico real del músculo a la hora de ser evaluado termográficamente (Ammer, 1997; Danz & Callies, 1981).

- En último lugar, hablamos de la *hidroterapia*. Dicha técnica se fundamenta en la utilización del agua como agente terapéutico, en cualquier forma, estado o temperatura. Su aplicación, al igual que el resto de terapias que hemos enumerado, afecta al aumento ó disminución de la temperatura cutánea, y consecuentemente a la interpretación termográfica posterior de la zona que quiere ser evaluada (Ammer, 1996; Ring, Barker, & Harrison, 1989; Rusch & Kiesselbach, 1984).

Tal y como se ha visto en la descripción de cada una de las variables terapéuticas, su principal incidencia radica en el cambio de temperatura de la piel de la persona que vamos a evaluar. Dicho cambio puede durar entre 4 y 6 horas (Ring & Ammer, 2000) como mínimo, por lo que es fundamental conocer si la persona que analicemos ha recibido alguna de estas terapias en las horas anteriores a la toma de imágenes.

### **1.3.3. FACTORES DEPORTIVOS**

En este último grupo de factores, hemos querido incluir todas aquellas variables que tienen una relación directa con el ámbito de la actividad física y el deporte. La escasa investigación en el terreno de la termografía deportiva hace posible que la gran mayoría de las variables y su influencia en dicha técnica no hayan sido todavía estudiadas e investigadas con la profundidad y rigor científico tal y como se ha realizado en otros ámbitos descritos con anterioridad (Fernández, Gómez, & Sillero, 2010).

Para una mejor categorización, agrupamos dichos factores en varios grupos de variables, entre las que identificamos:

- Variables de actividad física.
- Variables de especialización.
- Variables de planificación.
- Variables de sesión.
- Variables personales del deportista.

### 1.3.3.1. Variables de actividad física

Este grupo de variables están directamente relacionadas con la influencia que tiene el ejercicio en la temperatura del individuo, y más concretamente en la temperatura de la piel. En este sentido, identificamos dos grandes conceptos a tener en cuenta:

- En primer lugar, la influencia de la *actividad física* o *ejercicio* previo a la toma de una imagen termográfica. La producción de calor por el ejercicio muscular es un fenómeno ampliamente documentado. En este caso, hemos de tener en cuenta el hecho de que el sujeto examinado, haya realizado cualquier tipo de ejercicio o actividad muscular dentro de las cuatro a seis horas anteriores a la toma de imagen (Ammer, 1995; Fujimasa, Chinzei, & Mabuchi, 1996; Konermann & Koob, 1975; Smith, Bandler, & Goodman, 1986). Dicha actividad alterará la temperatura de la piel aumentándola en la mayoría de los casos y dándonos pie a equivocarnos o realizar una evaluación termográfica incorrecta.
- El segundo factor no menos importante es el *sudor*. Dicho elemento, conformado por agua y otras sustancias de emisividad menor que la de la piel, interferirá directamente en la radiación infrarroja de la piel que ha de captar la cámara. Al ser la emisividad menor, aunque el sudor esté a la misma temperatura de la piel, este actuará como efecto reflectante, y por lo tanto emitirá menos radiación que la piel y reflejará más la temperatura del entorno (Ogawa et al., 1991). Se recomienda por tanto constatar que la

persona examinada no esté sudando o mojada, por la influencia que estos elementos pueden tener en la radiación emitida.

### 1.3.3.2. Variables de especialización

En este grupo de variables, se aglutinan todas aquellas características que describen la especialización de un deportista, y que a fin de cuentas, pueden ser influyentes a la hora del análisis termográfico.

- El primer aspecto que tenemos que tener en cuenta es el *deporte* realizado por la persona evaluada, ya que lógicamente, dependiendo de la disciplina, el deportista tenderá a utilizar más determinadas zonas musculares. Por ejemplo, no será lo mismo evaluar un atleta, que trabajará predominantemente las piernas más que otras zonas; que un boxeador, especializado primordialmente en las extremidades superiores (BenEliyahu, 1992; Gómez et al., 2008a).
- En la misma línea, dentro de cada uno de los deportes, tenemos que tener en cuenta la *especialización* del sujeto en la disciplina. Hablamos de la *posición* específica que ocuparía un deportista en deportes colectivos (en fútbol, no es lo mismo un portero que un delantero) o de la especialidad (existen grandes diferencias de entrenamiento entre un gimnasta especializado en anillas de uno especializado en suelo). A fin de cuentas, ambos factores tendrán que ver con algo tan importante como saber la especialidad desarrollada, y qué zonas musculares entrarán más en juego, y que consecuentemente podrían estar sujetas a mayores sobrecargas.
- Otro factor que no puede pasar desapercibido es el *lado dominante* del deportista, puesto que en determinadas disciplinas, existen grandes diferencias de desarrollo muscular y entrenamiento entre un lado y otro. A su vez, sucede que muchos desequilibrios y sobrecargas tienen como origen la lateralidad del deportista, lo cual no suele ser identificado como el

causante de los mismos. De ahí la importancia de no obviar este factor (Sillero et al., 2010).

### 1.3.3.3. Variables de planificación

De manera breve, subrayamos la influencia de la *planificación* en la aplicación de la termografía deportiva. La existencia de microciclos de mayor impacto, puestas a punto o fases en la planificación especialmente exigentes pueden facilitar periodos en los que un deportista trabaje en exceso zonas o estructuras corporales y éstas aumenten de temperatura sin llegar a lesionarse. Asimismo, puede entenderse que tal y como explican autores como Mair y colaboradores (1996), o Petibois y colaboradores (2002), existen periodos de la temporada en los que la fatiga juega un rol excesivamente importante sobre el riesgo de lesión. En ese sentido, entender la planificación y las cargas de trabajo en una temporada puede ayudarnos a identificar mejor situaciones de riesgo lesivo para el deportista.

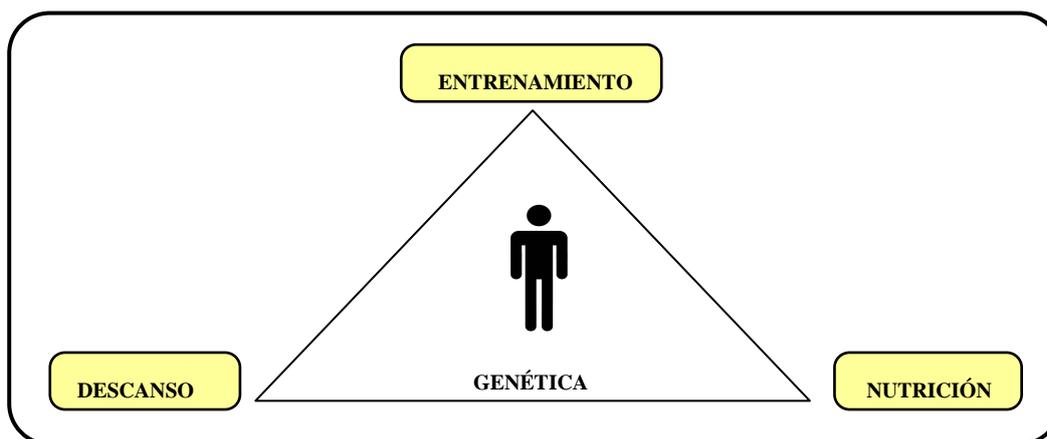
### 1.3.3.4. Variables de sesión

En la misma línea que el anterior grupo, antes de hacer alguna evaluación termográfica, tenemos que tener muy presente cuál ha sido el *trabajo específico* que se ha realizado en la sesión anterior de entrenamiento, ya sea en el mismo día o el día anterior. No existe ningún artículo que demuestre la influencia de un entrenamiento sobre otro, pero es presumible que sesiones con una carga de fuerza excéntrica, pliometría o ejercicios con una demanda especialmente alta incidan en grupos musculares que reaccionen aumentando su temperatura. Por consiguiente, conviene tener presente los trabajos realizados con anterioridad para poder determinar el origen de un aumento de temperatura debido, presumiblemente, a un determinado ejercicio o carga de trabajo. De esa manera podríamos modificar las cargas de entrenamiento hasta ajustarlas personalmente para que fuesen asimiladas sin riesgo lesivo alguno, basándonos siempre en las evaluaciones termográficas del día siguiente a la sesión para obtener un feedback con objeto de valorar la asimilación de la carga de entrenamiento y la respuesta, tanto del equipo en deportes colectivos como individualmente.

### 1.3.3.5. Variables personales del deportista

En último lugar hacemos mención a un grupo especial de factores que podrían determinarse como variables personales del deportista (Figura 8). En este grupo hemos querido incluir todas aquellas variables de carácter general que pueden llegar a influir al atleta y debieran ser tenidas en cuenta antes de la evaluación termográfica.

Según explica Benito Peinado (2008: 134), el éxito del entrenamiento se fundamenta en el control de tres factores, en función siempre de la genética del sujeto. El primero de ellos y más evidente, es el entrenamiento y su planificación, aspectos que ya hemos abordado en el anterior punto, y los otros dos son la *alimentación* y el *descanso*.



**Figura 8.-** Factores determinantes del entrenamiento que entran dentro de las variables personales del deportista, adaptado de Benito Peinado (2008).

Curiosamente, la pirámide representada por Benito Peinado (2008) puede transferirse perfectamente al grupo de variables a tener en cuenta en el deportista. De forma que en un primer plano, la genética se convierte en un elemento fundamental, que sin embargo va a ser muy difícil de controlar. La variabilidad de temperaturas entre sujetos dependerá precisamente de la disposición genética, de su mayor actividad metabólica y consecuentemente de una mayor temperatura media.

Pero en el plano estrictamente deportivo, además del ya analizado factor de entrenamiento, no podemos olvidar el *descanso* como factor fundamental para la

asimilación de la carga de entrenamiento. Antes se ha señalado que el efecto térmico que produce una sesión de entrenamiento se diluye a partir de las 4 horas, sin embargo, es necesario remarcar que determinadas cargas de entrenamiento, con un mal descanso, pueden provocar un aumento de la media de la temperatura en determinadas zonas durante un periodo de tiempo mayor.

Por lo tanto, el efecto de un mal descanso y asimilación de la carga de entrenamiento podría generar un desajuste térmico que habría que tener en cuenta a la hora de evaluar una imagen termográfica. Asimismo, y tal y como refleja Reinberg (1975) los *ritmos circadianos* inciden directamente en la temperatura corporal, existiendo fluctuaciones de temperatura a lo largo del día que no se ven afectadas tanto por la comida. De ahí precisamente la importancia del sueño, por su influencia en dichos ciclos, y a su vez, lo recomendable de fijar rutinas de toma de imágenes a las mismas horas, con el objetivo de evitar las variaciones térmicas que puedan estar asociadas a dichos ciclos.

Sin embargo, cuando hablamos de la *nutrición* o dieta que el deportista sigue, entramos en un núcleo de debate. Aunque muchos autores han remarcado el aumento de la termogénesis tras la ingesta de diversos alimentos, también se ha visto que aunque la ingesta de determinados alimentos, como la glucosa, aumenta la temperatura localizada de diversos órganos, esta no interfiere en la temperatura general del sujeto, por lo que no debería tenerse en cuenta (Federspil et al., 1989; Shlygin et al., 1991). Por esa razón, consideramos lógico citar la alimentación como un factor importante pero que no es concluyente a tenor de lo afirmado en diversos estudios.

El *género* también supone un factor muy importante a tener en cuenta, puesto que, relacionado con los ritmos circadianos, los periodos menstruales afectan a la temperatura global de la mujer, aumentándola por el efecto de la progesterona durante la fase luteínica hasta llegar al comienzo del periodo menstrual (Rothchild & Barnes, 1952).

En la misma línea, el *historial clínico* de la persona a evaluar se nos antoja fundamental, puesto que con él podemos saber las lesiones que ha tenido el deportista, y

por lo tanto las zonas que pueden ser mas vulnerables o predispuestas a volverse a lesionar, así como las presumibles descompensaciones o puntos débiles que dichas lesiones hayan podido provocar (Lee & Cohen, 2008). Asimismo, un breve historial médico puede también informarnos sobre el perfil lipídico -que influirá en la evaluación termográfica-, sobre algún tratamiento que pueda influir en la temperatura de la persona o algún proceso infeccioso que pueda provocar un aumento de la temperatura.

En último término, muchas incoherencias en la interpretación termográfica de imágenes de deportistas pueden ser explicadas por *hábitos* concretos individuales, como puede ser el hecho de tomar una imagen después de que el deportista se aplique hielo o un vendaje excesivamente compresivo, que crea un aumento de la temperatura de la zona vendada (Sillero et al., 2010).

#### **1.4. FÚTBOL Y REGISTRO DE LESIONES EN EL FÚTBOL PROFESIONAL**

En este apartado trataremos el fútbol como deporte, así como el gran impacto social a nivel mundial. Posteriormente, nos centraremos en la incidencia de lesión que le atañe, además de aclarar el controvertido concepto de lesión. Finalmente repasaremos aquellas metodologías más utilizadas en el ámbito científico para el registro de lesiones en el fútbol profesional.

##### **1.4.1. FÚTBOL**

###### **1.4.1.1. Historia del Fútbol**

El *fútbol*, también llamado balompié, football o soccer, es un deporte de equipo jugado entre dos conjuntos de 11 jugadores cada uno. El juego moderno fue creado en Inglaterra tras la formación de la *Football Association*, cuyas reglas del juego de 1863 son la base del deporte en la actualidad (Cambridgeshire, 2007). El organismo rector del fútbol es la *Fédération Internationale de Football Association*, más conocida por su acrónimo FIFA, creada en 1904, con sede en Zúrich (Suiza) y estableciendo por primera vez unas reglas a nivel mundial (FIFA, 2007).

El "*Football*" se fue extendiendo paulatinamente al resto de los países europeos gracias a la actividad de los marineros ingleses, que practicaban el nuevo deporte en los puertos donde atracaban y promovían su difusión. Por ello, las primeras ciudades europeas donde se practicó el fútbol fueron ciudades con puerto de mar (Las Palmas de Gran Canaria, Huelva, Sevilla, Bilbao y Barcelona en España). Posteriormente, los comerciantes ingleses también llevaron el nuevo deporte a las ciudades del interior del continente más importantes desde el punto de vista comercial. En los primeros años del siglo XX proliferan las fundaciones de miles de clubs, la mayoría de los que actualmente conocemos (Expertfootball, 2007).

La segunda mitad del siglo XX fue la época de mayor crecimiento del fútbol. El fútbol sudamericano ya se encontraba organizado desde 1916, año de la fundación de la Confederación Sudamericana de Fútbol, pero el deporte en otras zonas se comenzaría a agrupar en los años 1950 y 60. En 1954 el fútbol europeo y asiático se organizó en la UEFA y la Confederación Asiática de Fútbol respectivamente. En África, se fundó la Confederación Africana de Fútbol en 1957; en América del Norte, la CONCACAF en 1961; y por último en Oceanía, la Confederación de Fútbol de Oceanía en 1966 (FIFA, 2007). Dichas organizaciones se afiliarían a la FIFA bajo el nombre de confederaciones (FIFA, 2007). Este organismo se plantea cinco puntos principales para garantizar el buen desarrollo del deporte: mejorar el fútbol desde su carácter universal, educativo y cultural, así como mejorar los valores humanos que plantea el mismo; organizar competiciones del deporte; elaborar un reglamento para mantener el espíritu del juego; controlar las distintas formas del fútbol, adoptando medidas para mejorar las mismas; e impedir ciertas prácticas que afecten a la esencia del deporte (FIFA, 2007).

Debido al constante crecimiento de la FIFA, se han creado a lo largo de la historia seis confederaciones regionales, cuyos objetivos son similares a los de la FIFA y están encargadas de coordinar todos los aspectos del deporte en cada región. Para que una asociación sea miembro de una confederación, no necesariamente debe serlo de la FIFA (FIFA, 2006). Dichas confederaciones son las siguientes (figura 9):

- Confederación Asiática de Fútbol (AFC) en Asia y Australia.
- Confederación Africana de Fútbol (CAF) en África.
- Confederación en América del Norte, Central y el Caribe (CONCACAF).
- Confederación Sudamericana de Fútbol (CONMEBOL) en América del Sur.
- Confederación de Fútbol de Oceanía (OFC) en Oceanía (excepto Australia).
- Unión de Asociaciones de Fútbol Europeas (UEFA) en Europa.



**Figura 9.-** Confederaciones que conforman la FIFA.

#### **1.4.1.2. Práctica del fútbol profesional, dentro de su popularidad como deporte**

Según una encuesta realizada por la FIFA en el año 2006, ver Tabla 4, el *fútbol* es ampliamente considerado como el deporte más popular del mundo con unos 270 millones de personas involucradas, incluyendo a futbolistas, árbitros y directivos (FIFA, 2006). De éstas, 265 millones, alrededor del 4% de la población mundial, juegan al fútbol regularmente de manera profesional, semi-profesional o amateur, considerando tanto a hombres, mujeres, jóvenes y niños (FIFA, 2006). El número de clubs a nivel mundial es de 301.000, habiendo un número aproximado de 1,7 millones de equipos de fútbol en el año 2006, siendo esta cifra superior al anterior registro realizado en el año 2000 en el que el número de equipos de fútbol era 200.000 menos (FIFA, 2006). Por lo que se concluye que no sólo es el deporte más popular, sino que además se encuentra en un momento de gran expansión y crecimiento a nivel mundial.

**Tabla 4.-** Distribución de la población futbolística mundial por confederaciones.

	TOTAL	AFC	CAF	CONCACAF	CONMEBOL	OFC	UEFA
Jugadores (millones)	265	85	46	43	28	542	62
Hombres (millones)	239	80	45	33	25	0,5	55
Profesionales (x1000)	113	11	7	9	25	0	60
Clubes	301	20	12	17	47	2	202
% Población	4,13	2,22	5,16	8,53	7,47	4,68	7,59

Si nos centramos en nuestro ámbito de estudio, por un lado encontramos que a nivel mundial hay 113.000 jugadores profesionales de fútbol en 2006, siendo esta cifra inferior a la registrada en el año 2000, con 125.000 jugadores a nivel mundial; igualmente se redujeron el número de clubs de 305.000 a 301.000 en el 2006 (FIFA, 2006). Por otro lado, a nivel nacional nos encontramos 18.000 clubs en España (653.000 licencias federativas), de los cuales la Federación considera estrictamente profesionales 42 de ellos (1ª División y 2ª División), una población de 1.312 futbolistas profesionales a nivel nacional en el año 2006 (FIFA, 2006).

#### 1.4.2. REGISTRO DE LESIONES EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

El término “lesión” se ha visto ligado al deporte de alto rendimiento desde sus comienzos. En la actualidad, el número de lesiones ha aumentado de manera considerable por el exceso de competiciones (Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2006; Lewin, 1989; Walden, Hagglund, & Ekstrand, 2005b), las cuales requieren una gran exigencia física por parte de todos los deportistas. Fuller (2006), define la incidencia de lesión (*injury rate*) como el número de lesiones por cada mil horas de exposición (entrenamiento o competición) y se ha demostrado que los futbolistas de alto rendimiento tienen una elevada incidencia de lesión en comparación a otros deportistas de otros deportes (Junge, Rosch, & Peterson, 2002). Por otro lado, existen investigaciones realizadas sobre la probabilidad de lesión en futbolistas de élite que sitúan el riesgo de lesión de un jugador durante la temporada entre un 65% y un 91% (Arnason, Gudmundsson, Dahl, & Johannsson, 1996).

Las lesiones suponen una disminución de la práctica deportiva, ausencia a los entrenamientos y competiciones, y pueden significar el fin de la carrera deportiva, además de originar un gran coste económico en sus recuperaciones (Woods, Hawkins, Hulse, & Hodson, 2003).

Estudios como el de Woods afirman que, únicamente en el fútbol profesional inglés, los costes producidos por las lesiones de sus futbolistas, teniendo en cuenta la rehabilitación y el tiempo que se encuentran fuera de la competición, son superiores al billón de libras al año (Woods et al., 2003).

Este estudio de Woods remarca el hecho que durante la pretemporada, momento en el que los equipos realizan un mayor volumen e intensidad de entrenamiento, se producen en entrenamiento el 17% de todas las lesiones de la temporada. Con respecto a la distribución de las lesiones producidas en toda la temporada durante el entrenamiento, debemos decir que hay unanimidad entre los diversos estudios, llegando al acuerdo de que la mayor incidencia se produce en pretemporada, debido fundamentalmente a una mayor incidencia de lesión de sobrecargas y de lesiones sin contacto, y que ésta disminuye a lo largo de la temporada competitiva (Blaser & Aeschlimann, 1992; Ekstrand & Gillquist, 1982; Engström, Forssblad, Johansson, & Tornkvist, 1990; Hawkins, Hulse, Wilkinson, Hodson, & Gibson, 2001; Junge et al., 2002; Lüthje et al., 1996; Woods, Hawkins, Hulse, & Hodson, 2002; Woods et al., 2004).

Dada la problemática actual en el fútbol profesional para poder prevenir lesiones, en primer lugar debemos identificar la magnitud del problema, así como conocer aquellos factores que pueden influir sobre la producción de las mismas. Éste es un objetivo prioritario y, para ello, necesitamos una herramienta universal de registro de lesiones en el ámbito del fútbol profesional, donde todos los profesionales e investigadores utilicen los mismos conceptos o términos, para así poder comparar resultados. A partir de eso, podemos diseñar e introducir en la práctica deportiva medidas preventivas con el objetivo de disminuir la incidencia de lesión en el fútbol.

En el siguiente apartado definiremos los conceptos más importantes del ámbito de estudio, según el consenso de la UEFA (Fuller et al., 2006). Además, mostraremos las herramientas más importantes para el registro de lesiones en el fútbol profesional.

#### **1.4.2.1. Definición de conceptos**

En este apartado desarrollaremos algunos conceptos básicos y fundamentales para el registro de la incidencia de lesión, como puede ser el controvertido concepto de lesión y que tan necesario es acotarlo adecuadamente, para que el trabajo entre investigadores sea inteligible.

##### ***1.4.2.1.1. Lesión***

Este término ha sido definido por numerosos autores, utilizando diferentes criterios para ello. A continuación, exponemos las definiciones más apropiadas tras la revisión de la literatura realizada:

- *Pérdida de tiempo.*

La UEFA ha propuesto ésta como la más adecuada para la realización de estudios con deportistas profesionales. Entendiendo lesión como “el número de entrenamientos y de partidos en los que el deportista no puede participar debido a una incapacidad” (Andersen, Floerenes, Arnason, & Bahr, 2004; Arnason et al., 1996; Arnason et al., 2004b; Ekstrand & Gillquist, 1983a, 1983b; Ekstrand, Gillquist, & Liljedahl, 1983; Ekstrand, Roos, & Tropp, 1990; Ekstrand, Walden, & Hagglund, 2004a, 2004b; Engström et al., 1990; Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001; Lewin, 1989; Lüthje et al., 1996; Nielsen & Yde, 1989).

Esta acepción tiene una debilidad: la frecuencia tanto de entrenamiento como de competición puede variar entre equipos dentro de un mismo periodo o incluso dentro de un mismo equipo a lo largo de la temporada.

- *Asistencia médica.*

Se define lesión como “aquellos jugadores que han necesitado intervención por parte del cuerpo médico del club” (Fuller, Smith, Junge, & Dvorak, 2004a; Junge, Dvorak, & Graf-Baumann, 2004; Junge, Dvorak, Graf-Baumann, & Peterson, 2004; Morgan & Oberlander, 2001).

En esta acepción deberíamos tener en cuenta que la conformación de los cuerpos médicos de cada club no es igual, debido a las grandes diferencias económicas que existen entre algunos de los clubes profesionales, lo que lleva a que la asistencia médica para algunos jugadores esté más limitada.

- *Tejido lesionado.*

Se determinara a través de “evaluación médica que observe variación en alguna estructura corporal” (Junge, Dvorak, Graf-Baumann et al., 2004; Peterson, Junge, Chomiak, Graf-Baumann, & Dvorak, 2000). Este sería el apartado más objetivo.

- *Combinación de las anteriores.*

Otros autores se decantan en una combinación de las tres acepciones anteriores (Hawkins & Fuller, 1996, 1998; Junge et al., 2002), lo que lleva a una definición de lesión mucho más completa.

Finalmente, definiremos lesión según el Comité Médico de la UEFA, previamente propuesto por Ekstrand (1982) y vinculado a la primera acepción regida por la pérdida temporal:

*“Hecho que ocurre durante una sesión de entrenamiento o partido del programa y el cual, causa ausencia para la próxima sesión de entrenamiento o partido”.*

Además sería apropiado incluir las lesiones que causan la interrupción del jugador en una sesión de entrenamiento o partido, sin tener en cuenta que el jugador se pierda la siguiente sesión de entrenamiento o partido. Estas lesiones deberán ser recogidas en una categoría por separado, y se las nombrara como “lesión día cero”, dentro de las lesiones por pérdida de tiempo (Hagglund, Walden, Bahr, & Ekstrand, 2005).

Otras instituciones como *National Athletic Injury Registration System* (NAIRS), nos define lesión como “aquella que limita la participación atlética de un día, al menos el día después del día de lesión”. Mientras que el consenso europeo define lesión como “hecho que tiene al menos una de las siguientes consecuencias: reducción de la cantidad o nivel de actividad deportiva; necesidad de tratamiento médico, efectos socio-económicos adversos” (Junge & Dvorak, 2000).

Las lesiones sufridas fuera de la práctica del fútbol, es decir, no relacionadas con las competiciones de fútbol o el entrenamiento sufridas por los jugadores, no deben ser recogidas en los estudios de incidencia de lesión en fútbol, ya que estas lesiones modificarían la incidencia de lesión que se produce por la mera práctica de éste, tanto durante el entrenamiento o la competición, por lo que estas lesiones deben registrarse pero de modo independiente (Fuller et al., 2006).

#### ***1.4.2.1.2. Tipología de las lesiones***

La clasificación que la UEFA (Fuller et al., 2006; Hagglund, Walden, Bahr et al., 2005) propone para la realización de estudios epidemiológicos de lesiones deportivas provocadas por la práctica del fútbol el OSICS (*Orchard Sports Injury Classification System*) (Orchard, 1995), el cual agrupa todas las lesiones en siete grupos que a su vez tendrán una serie de subapartados, y por lo tanto será el sistema de clasificación que usemos en este apartado. A continuación se muestran los siete grupos principales que forman este sistema de clasificación:

- Óseas.
- Articulares.

- Musculares y tendinosas.
- Contusiones.
- Laceraciones y lesiones de la piel.
- Sistema nervioso central y periférico.
- Otras.

Todos los estudios analizados sobre los tipos de lesiones que se producen con la práctica deportiva del fútbol coinciden en que la mayor proporción de lesiones son de tipo muscular, seguidas de las lesiones de tipo ligamentoso, siendo significativas las diferencias sobre el resto de lesiones (Arnason et al., 1996; Dadebo, White, & George, 2004; Engström et al., 1990; Hagglund, Walden, Bahr et al., 2005; Hawkins & Fuller, 1999; Lüthje et al., 1996; Walden, Hagglund, & Ekstrand, 2005a).

Se ha calculado la incidencia de lesión por jugador de los principales tipos de lesiones obteniéndose los resultados que se muestran a continuación (Arnason et al., 1996):

- 2,6 lesiones musculares cada 1000 horas de exposición.
- 2,0 lesiones ligamentosas cada 1000 horas de exposición.
- 1,7 lesiones por contusión cada 1000 horas de exposición.

Como podemos ver, el tipo de lesión que se da con una mayor frecuencia es la lesión de tipo muscular, en lo que coinciden todos los estudios revisados al respecto (Arnason et al., 1996; Dadebo et al., 2004; Engström et al., 1990; Hagglund, Walden, Bahr et al., 2005; Hawkins & Fuller, 1999; Lüthje et al., 1996; Walden et al., 2005a). A su vez dentro de este tipo de lesión, el subtipo que se da con mayor asiduidad será la rotura muscular, con una incidencia de lesión de 1,7 lesiones por cada 1000 horas de exposición (lesiones\*1000hr/exp.) (Ekstrand et al., 2004b); si diferenciamos dentro del tipo de exposición obtendremos que se producen 1,3 lesiones/1000h en entrenamiento, mientras que en competición se producirán 4,0 lesiones/1000h.

De todas las lesiones musculares, la localización más común a la que afectan este tipo de lesiones es a nivel del muslo (Arnason et al., 2004b; Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2005; Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001; Lüthje et al., 1996; Walden et al., 2005a, 2005b), obteniendo porcentajes comprendidos desde el 59% (Walden et al., 2005a) hasta el 81% (Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001) de todas las lesiones musculares y llegando a porcentajes desde el 14% (Walden et al., 2005a) hasta el 16% (Walden et al., 2005b) del total de todas las lesiones.

Dentro del muslo podemos a su vez diferenciar dos zonas, la región posterior y la región anterior, en la que los diversos estudios que lo han analizado han llegado a idénticas conclusiones (Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001). La mayor incidencia de lesión se registra en la región posterior del muslo (67% de las roturas musculares del muslo) con diferencias significativas con respecto a la región anterior (33% de las roturas musculares del muslo,  $p < 0,001$ ), por lo que podemos concluir que las lesiones musculares de la región posterior del muslo son la principal lesión que sufren los jugadores de fútbol.

En el estudio de Hawkins se obtiene como resultado que el 81% de las lesiones musculares se producen a nivel del muslo, su estudio tiene un matiz que nos parece interesante resaltar: además de diferenciar la incidencia de lesión entre la región anterior del muslo y la región posterior de este, también nos indica cuando la lesión se ha producido en entrenamiento y cuándo ha sido en competición; llegando a la conclusión de que la incidencia de lesión en la región posterior es significativamente superior respecto a la región anterior ( $p < 0,001$ ), además esta diferencia se aumenta si nos referimos a la competición ( $p < 0,001$ ), mientras que en entrenamiento ocurre lo contrario (Hawkins et al., 2001).

Con respecto a las lesiones musculares que se producen en pretemporada comparada con la temporada, no se encuentran diferencias en valor absoluto, pero si se realiza este análisis diferenciando los diferentes grupos musculares sí se encuentran diferencias. En pretemporada la lesión muscular más común es en el recto femoral (29% de las lesiones musculares), seguido del aductor largo (12% de las lesiones musculares) y el bíceps femoral (11% de las lesiones musculares), sin embargo en la temporada

competitiva ocurre algo diferente, siendo el músculo más lesionado el bíceps femoral (21% de las lesiones musculares), seguido por el aductor largo (15% de las lesiones musculares) y el recto femoral (14% de las lesiones musculares). Por lo que Woods y colaboradores (2002) encontrarán diferencias significativas entre la incidencia de lesión en la pretemporada y la temporada competitiva en el recto femoral y el bíceps femoral ( $p < 0,01$ ).

Las lesiones ligamentosas serán la segunda tipología de lesión que se produce con mayor asiduidad, en lo que todos los estudios epidemiológicos de lesiones sobre la práctica del fútbol profesional coinciden (Arnason et al., 1996; Dadebo et al., 2004; Engström et al., 1990; Hagglund, Walden, Bahr et al., 2005; Hawkins & Fuller, 1999; Lühje et al., 1996; Walden et al., 2005a).

La incidencia de lesión de este tipo de lesión es de 2,0 lesiones por cada 1000 horas de exposición (Arnason et al., 1996). Dentro de las lesiones ligamentosas, serán las lesiones de tobillo las más frecuentes con una incidencia de 1,5 lesiones por cada 1000 horas de exposición, siendo esta de 0,8 lesiones por cada 1000 horas de exposición a entrenamiento, mientras que será de 5,0 lesiones por cada 1000 horas de exposición a competición (Woods et al., 2003).

Todos los estudios nos aportan porcentajes comprendidos entre el 14% y el 21% acerca de la cantidad de lesiones ligamentosas sobre la incidencia de lesión total (Arnason et al., 1996; Hawkins & Fuller, 1999; Walden et al., 2005a, 2005b). Dentro de estas, la localización más frecuente se produce en la articulación del tobillo (51% de las lesiones ligamentosas) (Ekstrand et al., 1983; Walden et al., 2005a), siendo el ligamento peroneo astragalino anterior el que se lesiona con una mayor frecuencia (73% de las lesiones ligamentosas de tobillo), seguido del ligamento medial (14% de las lesiones ligamentosas de tobillo) y del ligamento tibio astragalino anterior (3% de las lesiones ligamentosas de tobillo) (Woods et al., 2003). Mientras que la segunda localización más frecuente será en la articulación de la rodilla (con porcentajes entre un 45% y un 54% de todas las lesiones ligamentosas) (Hawkins & Fuller, 1999; Walden et al., 2005a, 2005b), siendo el ligamento lateral interno el más lesionado (con porcentajes comprendidos

entre un 54% y un 76% de todas las lesiones ligamentosas de rodilla) (Hawkins & Fuller, 1999; Walden et al., 2005a, 2005b).

Si diferenciamos la incidencia de lesiones ligamentosas entre entrenamiento y competición no encontramos diferencias significativas, siendo superior la incidencia en entrenamiento (20% de todas las lesiones, frente al 18% de las lesiones en competición) (Hawkins et al., 2001). Otro estudio muestra resultados contradictorios al anterior aunque tampoco se encontraron diferencias significativas (21% de todas las lesiones eran ligamentosas y sufridas durante la competición, mientras que en entrenamiento fueron el 18%) (Hawkins & Fuller, 1999).

Las lesiones de tipo ligamentoso se producen en mayor medida durante la pretemporada, disminuyendo progresivamente durante la temporada, siendo el mes de mayor incidencia en el que comienza la competición, pero sin haber diferencias significativas. Durante la pretemporada es el tobillo la localización más habitual (59% de las lesiones de tipo ligamentoso), siendo el complejo ligamentoso lateral (74% de las lesiones ligamentosas de tobillo) el más afectado sobre el complejo medial (21% de las lesiones ligamentosas de tobillo); con respecto a la temporada competitiva no encontramos diferencias significativas. Por el contrario, la incidencia ligamentosa de lesión de la rodilla sí encontramos diferencias significativas entre la temporada competitiva y la pretemporada, siendo superior en este primer periodo de la temporada (30% de las lesiones ligamentosas), siendo el ligamento lateral interno el más afectado (15% de las lesiones ligamentosas de rodilla), seguido del ligamento cruzado anterior (8% de las lesiones ligamentosas de rodilla), mientras que el ligamento cruzado posterior no fue registrado durante la pretemporada (Woods et al., 2002).

Con respecto a las contusiones, encontramos una incidencia de lesión inferior con respecto a las dos tipologías anteriores, siendo de 1,7 lesiones/1000h (Arnason et al., 1996). Lo que nos lleva porcentualmente entre un 7% y un 20% de todas las lesiones que se producen en esta práctica (Arnason et al., 1996; Engström et al., 1990; Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001; Walden et al., 2005a, 2005b; Woods et al., 2002). Algunos de estos estudios nos diferencian entre la incidencia en entrenamiento y competición, encontrando diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) siendo superior la

posibilidad de sufrir una lesión por contusión en competición (Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001).

Si además comparamos la incidencia de sufrir una lesión por contusión entre la pretemporada y la temporada competitiva, encontramos también diferencias significativas ( $p < 0,01$ ), siendo superior durante la temporada competitiva (en pretemporada serán el 5% de todas las lesiones sufridas, frente al 7% de todas las lesiones de la temporada competitiva) (Woods et al., 2002).

Dos estudios nos analizan la tipología de las lesiones a la vez que diferencian entre las lesiones producidas en entrenamiento y en competición. En ambos estudios podemos observar una mayor incidencia de lesión muscular, siendo superior en entrenamiento sobre las lesiones ocurridas en la competición ( $p < 0,01$ ). Las diferencias encontradas en las otras tipologías entre la incidencia de lesión en entrenamiento y competición también son significativas estadísticamente ( $p < 0,05$ ) (Hawkins et al., 2001; Inklaar, Bol, Schmikli, & Mosterd, 1996).

También se comparó el tipo de lesiones dentro de la temporada, entre la pretemporada y la parte competitiva de la temporada, no obteniendo diferencias a nivel de roturas musculares o ligamentosas; aunque sí encontramos diferencias significativas en otros tipos de lesiones como son las lesiones tendinosas y las sobrecargas, siendo superiores en pretemporada ( $p < 0,01$ ), mientras que la incidencia de las contusiones musculares y magulladuras son superiores durante la temporada competitiva ( $p < 0,05$ ) (Woods et al., 2004).

Un estudio nos compara el tipo de lesión en función del terreno de juego, llegando a las siguientes conclusiones: durante la competición la posibilidad de sufrir una lesión de rotura muscular fue significativamente inferior en campo de hierba artificial en comparación a un campo de hierba natural ( $p < 0,05$ ), mientras que en entrenamiento ocurre lo contrario, la probabilidad de sufrir dicha lesión fue mayor en un campo de hierba artificial ( $p < 0,05$ ). Con respecto a las lesiones de tipo ligamentoso en este estudio se llegó a la siguiente conclusión: la posibilidad de sufrir una lesión ligamentosa será mayor en competición respecto a entrenamiento ( $p < 0,05$ ), y a su vez

será mayor en un campo de hierba artificial respecto a un campo de hierba natural ( $p < 0,05$ ) (Ekstrand, Timpka, & Hagglund, 2006).

Según la mayoría de los autores, habitualmente estas lesiones de tipo muscular o ligamentoso son lesiones recidivas (Ekstrand & Gillquist, 1983a; Ekstrand et al., 1990; Ekstrand & Tropp, 1990; Engstrom & Renstrom, 1998; Inklaar et al., 1996; Nielsen & Yde, 1989).

#### ***1.4.2.1.3. Localización de la lesión***

Para determinar este parámetro usaremos la clasificación OSICS (*Orchard sports injury classification system*) (Fuller, Dick, Corlette, & Schmalz, 2007; Fuller et al., 2006), compuesta por 4 regiones anatómicas:

- Cabeza y cuello.
- Extremidad superior.
- Tronco.
- Extremidad inferior.

Estas a su vez se desglosaran en otras 17 localizaciones, que favorecerán una mayor precisión a la hora de determinar la localización en la cual se ha producido la lesión.

De todas las lesiones que se producen durante la práctica del fútbol, la región anatómica de las cuatro existentes en la que se producen mayor número de lesiones, es la extremidad inferior, dato en el que coinciden todos los estudios, obteniendo entre un 72% - 89% de todas las lesiones que se producen en esta localización (Andersen, Floerenes et al., 2004; Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2005; Junge, Dvorak, & Graf-Baumann, 2004; Junge et al., 2005; Morgan & Oberlander, 2001; Peterson et al., 2000; Woods et al., 2003; Woods et al., 2004; Yoon, Chai, & Shin, 2004).

Todos los estudios revisados nos ofrecen como resultado que la localización que se da con mayor frecuencia es el muslo, con porcentajes entorno al 21% – 23% de todas las lesiones registradas (Fuller, Smith, Junge, & Dvorak, 2004b; Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2005; Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001; Junge, Dvorak, Graf-Baumann et al., 2004; Lüthje et al., 1996; Walden et al., 2005a, 2005b; Woods et al., 2002), seguido de la rodilla en la que se localizan entre el 16% y 21% y del tobillo con porcentajes comprendidos entre el 13% y el 18% de las lesiones.

Teniendo en cuenta que el muslo es la localización más frecuente de las lesiones registradas en todos los estudios, y dentro de esta localización el 67% de las lesiones se registran en la región posterior (Hawkins et al., 2001), de las cuales el 94% son de tipo muscular (Woods et al., 2004), se realizó un estudio para ver, con la mayor precisión posible, en que músculos se producían esas lesiones, llegando al siguiente resultado: el 53% de las lesiones se producían en el bíceps femoral, seguido del semitendinoso 16%, semimembranoso 16% y sin especificar 19%. Lo que supuso que las lesiones musculares localizadas en la región posterior del muslo fueron el 12% de todas las lesiones registradas en el estudio. Además se comparó la incidencia de lesión entre la pierna dominante y la no dominante en esta localización, llegando al resultado de que no hubo diferencias significativas (53% de las lesiones en la pierna dominante frente a 45% de las lesiones en la pierna no dominante) (Woods et al., 2004).

Dos estudios realizados por Walden (2005a, 2005b), nos aportan información sobre la localización de la lesión, pero en función de la gravedad de esta. Si tenemos únicamente en cuenta la localización en ambos estudios, la zona más lesionada fue el muslo (23% de todas las lesiones), seguido de rodilla y tobillo (Fuller et al., 2004b; Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2005; Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001; Junge, Dvorak, Graf-Baumann et al., 2004; Lüthje et al., 1996; Walden et al., 2005a, 2005b; Woods et al., 2002). Mientras que si tenemos en cuenta solamente las lesiones graves, la localización más frecuente fue la rodilla, con porcentajes entre el 36% - 34% de todas las lesiones graves (de las cuales el 79% fueron de tipo ligamentoso o articular) (Walden et al., 2005a, 2005b), mientras que en el muslo solamente se localizaron entre el 15,5% y el 13% de las lesiones graves (Walden et al., 2005a, 2005b).

Si diferenciamos entre el periodo de pretemporada y el de temporada competitiva, no encontramos diferencias significativas entre la localización a nivel del muslo, el tobillo o la rodilla teniendo una incidencia muy similar entre los dos periodos, pero sí encontramos diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la localización a nivel de la pierna baja, siendo mayor su incidencia de lesión en pretemporada (15% de todas las lesiones de la pretemporada) en comparación con la temporada competitiva (12% de todas las lesiones de la temporada competitiva) (Woods et al., 2002).

También podemos analizar la localización de la lesión diferenciando entre lesiones producidas como causa de un traumatismo o de una sobrecarga. El estudio que realizó este análisis encontró la mayor incidencia de lesión en la rodilla con un 33% de todas las lesiones, de las cuales el 19% fueron causadas por traumatismos, mientras que el otro 14% fueron motivadas por sobrecargas. Las lesiones registradas a nivel del muslo fueron un 8% de todas las lesiones, siendo todas ellas lesiones por sobrecarga. A nivel de la articulación del tobillo se registraron el 22% de todas las lesiones, de las cuales el 17% fueron por traumatismo, mientras que solamente un 5% de estas fueron causadas por una sobrecarga (Engström et al., 1990).

#### ***1.4.2.1.4. Severidad de la lesión***

La severidad de una lesión está directamente relacionada con el número de días que el jugador está ausente del entrenamiento y la competición con el resto del grupo. Por lo que se contabilizarán el número de días a partir de la fecha en la que se produce la lesión, hasta que el jugador vuelve a la total participación en los entrenamientos del equipo y la disponibilidad para ser convocado para un partido (Fuller et al., 2006).

Para la clasificación de las lesiones en función de su severidad, utilizaremos 4 niveles propuestos por la UEFA, para la realización de estudios epidemiológicos de lesiones mediante la práctica del fútbol profesional, tanto en entrenamiento como en competición. La clasificación es la siguiente (teniendo en cuenta que el día en el que se produce la lesión no se contabilizará) (Andersen, Arnason, Engebretsen, & Bahr, 2004; Hagglund, Walden, Bahr et al., 2005; Junge et al., 2002):

- Lesiones leves: el jugador está ausente entre 1-3 días.
- Lesiones menores: el jugador está ausente entre 4-7 días.
- Lesiones moderadas: el jugador está ausente entre 8-28 días.
- Lesiones graves: el jugador está ausente más de 28 días.

Los diversos estudios que se centran en este apartado, nos dan los siguientes resultados porcentuales: por un lado, las lesiones leves están comprendidas entre el 10% - 42%, las lesiones menores entre el 22% - 43%, las lesiones moderadas entre el 21% - 47% y las lesiones graves entre el 9% - 23%. Por lo que a primera vista podemos ver que el mayor número de lesiones son categorizadas como menores o moderadas y que las lesiones graves se dan en un menor porcentaje (Andersen, Floerenes et al., 2004; Arnason et al., 2004a; Drawer & Fuller, 2002; Faude, Junge, Kindermann, & Dvorak, 2005; Junge, Dvorak, Chomiak, Peterson, & Graf-Baumann, 2000; Walden et al., 2005b). Si diferenciamos la severidad de las lesiones entre las que se han producido en entrenamiento y las de competición, no encontramos diferencias significativas (Ekstrand et al., 2006; Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001; Nielsen & Yde, 1989).

La ausencia media que encontramos por lesión va desde 11,6 días hasta 24 días (Hägglund, 2007; Hägglund, Walden, & Ekstrand, 2008, 2009; Walden et al., 2005a, 2005b; Walden, Hägglund, & Ekstrand, 2007), con pérdidas de entrenamientos comprendidas entre los 9,8 y los 11,4, y en partidos de competición entre 1,5 y los 4 (Walden et al., 2005a, 2005b), perdiendo al menos un partido en el 78% de las lesiones (Hawkins et al., 2001).

Donde sí encontramos diferencias significativas es al comparar la severidad de las lesiones entre el periodo de pretemporada con el de la temporada competitiva, las lesiones leves y menores son significativamente superiores en el periodo de pretemporada ( $p < 0,05$ ), mientras que las lesiones moderadas y graves son significativamente más frecuentes en el periodo de la temporada competitiva ( $p < 0,01$ ). Por lo que concluimos que la severidad de las lesiones es mayor en el periodo de la temporada competitiva (Woods et al., 2002).

La localización donde se dan las lesiones de mayor gravedad es en la articulación de la rodilla, con resultados comprendidos entre el 34% - 25% de todas las lesiones categorizadas como graves (Faude et al., 2005; Hagglund et al., 2009; Walden et al., 2007). Dentro de las cuales encontraremos 2,2 lesiones de ligamento cruzado anterior cada 1000 horas de exposición a competición. Si atendemos a su tipología serán las lesiones ligamentosas las de mayor severidad con un 38% de las lesiones graves, seguido de las lesiones musculares con un 24% (Walden et al., 2005b).

Hay ciertos estudios que analizan la severidad de alguna de las lesiones que ocurren con más frecuencia de manera específica. Una de estas lesiones podría ser la rotura muscular en la región posterior del muslo; tras la realización de este estudio se obtuvo como conclusión que la ausencia media que causa una lesión de este tipo es de 18 días y 3 partidos de competición, lo que llevaría a un club a lo largo de una temporada a perder 90 entrenamientos y 15 partidos si sumásemos todas las bajas causadas a todos los jugadores de esa plantilla por este tipo de lesión (Woods et al., 2004). Otra de la que tenemos datos es la lesión ligamentosa de la articulación del tobillo, este tipo nos llevaría a una ausencia media de 14,6 días de ausencia, dentro de los cuales diferenciamos entre 15,2 días de ausencia media por una lesión de este tipo en competición, mientras que en entrenamiento sería una ausencia de 13,6 días (Woods et al., 2003).

La ausencia media por lesión en el estudio de Drawer & Fuller (2002) fue de 14,7 días de ausencia, pero lo importante de este estudio fue que se diferenció la severidad de las lesiones iniciales o recidivas, es decir, si el jugador la poseía por primera vez, o que si el jugador había tenido previamente otra lesión de la misma tipología y en la misma localización. El resultado que se obtuvo fue que las lesiones iniciales causaron una ausencia de 13,7 días frente a las lesiones recidivas con una ausencia media de 18,2 días, por lo que las diferencias son significativas ( $p < 0,001$ ) (Drawer & Fuller, 2002). Otro estudio encontró también diferencias significativas ( $p < 0,01$ ), obteniendo como resultado que las lesiones iniciales causaban una pérdida de 19,1 días de entrenamiento frente a los 25,1 días perdidos de media por las lesiones recidivas (Hawkins et al., 2001). Lo que no hace deducir que la severidad de las lesiones recidivantes es mayor.

Si analizamos la severidad en función de cómo se produce la lesión, encontramos que la severidad de las lesiones es mayor en aquellas que se producen sin contacto, causando una ausencia mayor que en las que sí hay contacto ( $p < 0,001$ ) (Junge, Dvorak, & Graf-Baumann, 2004). Pero si comparamos la severidad de las lesiones en función de si estas son traumáticas o por sobrecarga, encontramos que la ausencia causada por las lesiones traumáticas (21,1 días de ausencia) es significativamente mayor que las lesiones por sobrecarga (11,4 días de ausencia) ( $p < 0,001$ ) (Walden et al., 2005b).

Si comparamos la severidad de las lesiones en función del tipo de terreno de juego, encontramos que no hay diferencias significativas entre el césped natural y la hierba artificial. Aunque la tendencia fue que las lesiones ocurridas en hierba natural fueron menos severas que en hierba artificial, al igual que ocurrió con las lesiones producidas en entrenamiento si lo comparamos con las producidas en competición (Walden et al., 2005b).

Proponemos como conclusión final dentro de este apartado, que las lesiones causan una ausencia media de 39,6 días de ausencia a cada jugador como promedio a lo largo de una temporada, lo que muestra una imagen clara de la importancia de estudios en este ámbito (Drawer & Fuller, 2002).

#### ***1.4.2.1.5. Lesiones recidivantes***

Entendemos por una lesión recidiva o por recaída, aquella lesión del mismo tipo y localización, la cual ocurre después de que el jugador vuelva a la total participación (Fuller et al., 2006; Hagglund, Walden, Bahr et al., 2005). Dentro de las lesiones por recaída, se diferencian varios tipos (Fuller et al., 2006):

- *Recaída temprana*: cuando ocurre en los 2 meses posteriores a que el jugador vuelva a la práctica completa.
- *Recaída tardía*: cuando ocurre entre los 2 y 12 meses posteriores a que el jugador vuelva a la práctica completa.

- *Recaída retrasada*: cuando ocurre pasados los 12 meses posteriores a que el jugador vuelva a la práctica completa.

El porcentaje de lesiones de este tipo que se dan respecto al total de las lesiones, va desde el 7% hasta el 35% en función de diversos estudios (Andersen, Floerenes et al., 2004; Arnason et al., 2004a; Drawer & Fuller, 2002; Faude et al., 2005; Junge et al., 2000; Walden et al., 2005b), causando ausencias entre los 10,9 días y los 25,1 días de ausencia por cada lesión (Drawer & Fuller, 2002; Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001), lo que supone una ausencia significativamente superior a la causada por las lesiones iniciales con ausencias entre los 7,6 días y los 19,1 días de ausencia ( $p < 0,01$ ) (Dvorak et al., 2000; Fernández, Gómez, Sillero, & Arnaiz, 2010). Por el contrario, encontramos otro estudio que llega a conclusiones contradictorias diciendo que no hay diferencias significativas ( $p = 0,95$ ) entre la severidad de la lesión inicial (13,0 días de ausencia) y la lesión recidivante (12,4 días de ausencia). Estas últimas lesiones contabilizarán, en un seguimiento realizado en la Liga de Fútbol Profesional de Dinamarca, un 37% de las lesiones graves registradas, mientras que en la Liga de Fútbol Profesional de Suecia, fueron el 24% de las lesiones (Walden et al., 2005b).

Si diferenciamos entre competición y entrenamiento, encontramos que este tipo de lesión se da con mayor frecuencia en entrenamiento (28% de todas las lesiones producidas durante el entrenamiento) que en competición (22% de todas las lesiones sufridas durante la competición) (Ekstrand, Hagglund, & Walden, 2009).

Dentro de las lesiones recidivantes, encontramos que el mayor porcentaje de estas son de tipo muscular (49% - 48% de todas las lesiones por recaída), seguido de las lesiones ligamentosas (27% - 18% de todas las lesiones por recaída), por lo que solamente entre estos dos tipos de lesiones, llegarían a sumar porcentajes entre el 76% - 66% de todas las lesiones por recaída. Con respecto a la localización, la rotura muscular más común fue a nivel del muslo (20% de todas las lesiones por recaída), siendo el 82% de estas localizadas en su región posterior, seguido de la musculatura de la región de la pierna baja y de la ingle. Mientras que la localización más frecuente de las lesiones ligamentosas fue en la articulación del tobillo (18% de todas las lesiones por recaída),

seguido de la rodilla (9% de todas las lesiones por recaída) (Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001).

Algunos estudios han analizado la incidencia de recidivas de una determinada lesión concreta. Uno de estos casos, fue para la lesión muscular a nivel isquiotibial, en el que obtuvieron que un 12% de todas las lesiones musculares en esta localización eran lesiones recidivas, siendo significativamente superior a la media de todas las lesiones que era de un 7% ( $p < 0,01$ ). Por el contrario, no encontraron diferencias entre la severidad de la lesión inicial y de la lesión por recaída (Woods et al., 2004). También se realizó un estudio sobre la incidencia de lesión del tobillo, en el que se encontraron diferencias significativas, siendo más alta la probabilidad de sufrir una lesión ligamentosa por recaída en la articulación del tobillo (9% de todas las lesiones ligamentosas de tobillo), frente a la media formada por el resto de lesiones (7% lesiones por recaída del total de todas las lesiones registradas) (Woods et al., 2003).

El 63% de las lesiones recidivas se deben a sobrecargas, mientras que solamente el restante 37% de las lesiones se deben a traumatismos. Este tipo de lesiones se produjeron en un 75% de los casos durante entrenamiento. Y además en el 51% de los casos fueron en pretemporada, por lo que la posibilidad de sufrir una lesión recidiva era significativamente superior en pretemporada ( $p < 0,01$ ), y en una sesión de entrenamiento frente a un partido ( $p < 0,05$ ) (Walden et al., 2005a).

Se producen un mayor porcentaje de lesiones recidivas en campo de hierba artificial (15,8% de todas las lesiones), que en campo de hierba natural (14,9% de todas las lesiones), no siendo significativas las diferencias (Ekstrand et al., 2006).

Acabaremos este apartado concluyendo que el 79% de los jugadores tienen al menos una lesión recidivante por temporada (Walden et al., 2005a).

#### ***1.4.2.1.6. Mecanismos de producción***

Para el análisis preciso de los mecanismos de producción, por los cuales se producen las lesiones, deberemos diferenciar dos tipos de lesiones previamente:

- *Lesiones por traumatismo*: Se refiere a aquellas lesiones resultado de un evento identificable y específico (Fuller et al., 2006).
- *Lesiones por sobrecarga*: Se refiere a aquellas lesiones causadas por un microtraumatismo de repetición, sin un evento identificable responsable de la acción (Fuller et al., 2006).

Por lo tanto, para la identificación de los mecanismos de producción, en los que se producen las lesiones durante la práctica del fútbol profesional, tanto en entrenamiento como en competición, deberemos tener en cuenta únicamente aquellas lesiones que se producen en un determinado evento y por lo tanto identificable, es decir las lesiones traumáticas. En consecuencia, las lesiones por sobrecarga no se podrán tener en cuenta para la identificación de los mecanismos de producción.

Dentro de las lesiones traumáticas, encontraremos dos tipos:

- *Lesiones con contacto*: con otro jugador de nuestro equipo o del equipo rival o incluso otro objeto, como podría ser el balón.
- *Lesiones sin contacto*: el jugador se lesiona sin entrar en contacto con nada.

A su vez, dentro de estos dos tipos de lesiones, encontramos todos los tipos de mecanismos de producción que según la clasificación OSICS (*Orchard sports injury classification system*) podemos identificar (Orchard, 1995):

Mecanismos de producción sin contacto:

- Corriendo.
- Girando.
- Estirando.
- Chutando.
- Golpeando.
- Aterrizando

- Pasando.
- Saltando.
- Cayendo.
- Conduciendo.
- Cabeceando.
- Driblando.

Mecanismos de producción con contacto:

- Entrando.
- Siendo entrado.
- Chocando.

Finalmente, dentro de las lesiones por traumatismo con contacto que se producen en competición, identificaremos en cada una de ellas, si el árbitro del partido señaló falta de juego o por el contrario dejó proseguir el encuentro.

Si observamos los mecanismos de producción de las lesiones en pretemporada, nos encontramos diferencias, siendo superiores las lesiones sin contacto (68% de todas las lesiones), frente a las lesiones con contacto (29%) ( $p < 0,01$ ). También obtenemos diferencias significativas entre la incidencia de lesión sin contacto comparando entre pretemporada (29% de todas las lesiones de este periodo), frente a la temporada (40% de todas las lesiones de este periodo) ( $p < 0,01$ ). El mecanismo de producción por el que más lesiones se producen en pretemporada es la carrera (25% de todas las lesiones), seguido de “siendo entrado” (11% de todas las lesiones), girando (9% de todas las lesiones), realizando una entrada (8% de todas las lesiones), ó en colisiones ó choques (5% de todas las lesiones). Si comparamos estos mecanismos con la temporada competitiva encontramos diferencias significativas en los siguientes: corriendo (18% de las lesiones de este periodo), “siendo entrado” (11% de las lesiones de este periodo) y realizando una entrada (9% de las lesiones de este periodo) ( $p < 0,01$ ) (Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001).

### 1.4.2.2. La incidencia de lesión

Para el cálculo de la incidencia de lesión en fútbol profesional, el modelo que propone la UEFA (Walden et al., 2005b) es el más usado. Para ello, se debe registrar la exposición de manera individual de cada uno de los jugadores, cubriendo todos los entrenamientos como los partidos de competición en los que este participe. Este registro temporal se realizará en minutos. Además, se cuantificará el número de lesiones que se hayan producido en ese periodo de tiempo, de cada uno de los jugadores que se anotó su exposición a la práctica del fútbol, ya fuese entrenando o compitiendo. Con la obtención de estos datos, se podrá realizar el cálculo de la incidencia de lesión, de la manera siguiente:

Si el cálculo de la incidencia de lesión se realiza de manera individual, será el número de lesiones que el jugador ha tenido en un determinado espacio temporal (por ej. 2 lesiones en 5400 minutos) pasando esta cifra a horas, y el resultado se dará en tanto por mil. Obteniendo como resultado el número de lesiones que el jugador tendría si estuviese expuesto durante 1000 horas.

*Ej. 5000 min. serían 90 horas de exposición, en las que el jugador ha tenido 2 lesiones. Lo que llevaría a tener 22,2 lesiones cada 1000 horas de exposición. Por lo que la incidencia de lesión de ese jugador es de 22,2 lesiones/1000 horas.*

El estudio de la incidencia de lesión puede realizarse de manera global o profundizando en alguno de los factores que la determinan, en función de lo anterior, las investigaciones centran su atención sobre los siguientes aspectos:

- Individual o colectiva.
- Entrenamiento o competición.
- Temporada – pretemporada.
- En función de la demarcación del jugador.
- En función de una determinada lesión.

Por lo tanto, definimos la incidencia de lesión con la siguiente expresión matemática (Fuller et al., 2006):

$$\text{Incidencia de lesión} = 1000 \text{ horas de exposición} / \text{número de lesiones.} \quad [11]$$

### **1.4.2.3. Incidencia de lesión en el fútbol profesional actual**

Los estudios de investigación más recientes, relacionados con esta temática, nos muestran los siguientes resultados:

La media de lesiones, incluyendo entrenamiento y competición, que tiene un jugador a lo largo de una temporada es entre 1,3 (Hawkins et al., 2001) o 1,4 (Woods et al., 2002) lesiones por cada 1000 horas de exposición. Teniendo el 75% de todos los jugadores al menos una lesión durante toda la temporada (Woods et al., 2002), esto puede dar una idea de la gran probabilidad de que los jugadores de fútbol sufran una lesión.

Si tuviésemos en cuenta a todo un equipo, podríamos decir que el número medio de lesiones sería de 39,1 lesiones a lo largo de una temporada (Woods et al., 2002).

Otra forma de observar el mismo fenómeno es diciendo que ocurre una lesión cada 2 partidos y 12 sesiones de entrenamiento (Arnason et al., 1996). Lo cual nos lleva a plantearnos la gran problemática que conlleva la cantidad de lesiones que sufre un equipo a lo largo de la temporada, no sólo desde el punto de vista deportivo, sino también desde el punto de vista económico.

#### **1.4.2.3.1. Incidencia de lesión total**

La incidencia de lesión total es la suma de todas las lesiones que tiene un jugador ó un grupo de jugadores a lo largo de un periodo de tiempo, en relación con el tiempo de exposición y expresado en tanto por mil.

$$I.L.T = N^{\circ} \text{ de lesiones total} \times 1000 / \text{tiempo de exposición (h)}. \quad [12]$$

Si nos fijamos en autores como Hawkins, Walden, Ekstrand, Hagglund o Morgan, quiénes nos describen la incidencia de lesión total que hay en las principales ligas de países como Inglaterra, Estados Unidos, Suecia, etc, podemos ver que llegan a resultados similares, comprendidos entre las 6 y las 9 lesiones por cada 1000 horas de exposición (Ekstrand et al., 2004a, 2004b; Engström et al., 1990; Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2003, 2005; Hawkins & Fuller, 1999; Morgan & Oberlander, 2001; Walden et al., 2005a; Walden, Hagglund, & Ekstrand, 2006; Yoon et al., 2004).

Además, hay otros estudios que no se refieren a las ligas de fútbol profesional de un país en concreto, sino que se refieren a competiciones internacionales como el estudio realizado por Walden o Hagglund, en el que cuantifica la incidencia de lesión en una competición de máximo nivel de clubes en Europa (*Champions League*), obteniendo como resultado una incidencia de lesión de 9,4 lesiones por cada 1000 horas (Hagglund et al., 2009; Walden et al., 2005b).

#### ***1.4.2.3.2. Incidencia de lesión en competición***

La incidencia de lesión en competición ha sido más estudiada que la incidencia de lesión total, debido a la mayor accesibilidad. Su cálculo se realiza de la siguiente manera (Fuller et al., 2006):

$$I. L.C. = N^{\circ} \text{ de lesiones} \times 1000 \text{ horas} / \text{Exposición a competición (h.)} \quad [13]$$

Por exposición a competición se entiende, todos aquellos partidos o fracciones de estos en los que juegan equipos de diferentes clubs, por lo que un partido contra un equipo del mismo club debiera ser registrado como exposición a entrenamiento (Fuller et al., 2006).

Numerosas investigaciones han estudiado este fenómeno. La mayoría de ellas, como en el apartado anterior, se centran en las ligas profesionales de determinados países a nivel mundial. Los resultados más relevantes muestran que el número de lesiones que se producen en competición oscila entre las 16,6 lesiones (Lüthje et al., 1996) y las 35,3 lesiones (Morgan & Oberlander, 2001) cada 1000 horas de exposición,

situándose en torno a las 25-28 lesiones por año el grueso de las investigaciones (Andersen, Floerenes et al., 2004; Arnason et al., 1996; Ekstrand et al., 2006; Hagglund et al., 2003; Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2005; Hawkins & Fuller, 1999; Morgan & Oberlander, 2001; Peterson et al., 2000; Walden et al., 2005a).

Dentro de todas estas investigaciones, destacamos la realizada sobre la incidencia de lesión en la *Champions League* por Walden (Walden et al., 2005b), que nos da como resultado una incidencia de 30,5 lesiones, es decir, ligeramente superior a las lesiones sufridas en los campeonatos con carácter nacional.

Si comparamos la incidencia de lesión total con la de competición, vemos que en esta última es claramente superior, lo que induce a pensar que el riesgo es superior en competición en comparación con el entrenamiento.

#### ***1.4.2.3.3. Incidencia de lesión en entrenamiento***

Por exposición a entrenamientos se entiende, toda actividad física del equipo o individual bajo la orientación del cuerpo técnico y físico, con el objetivo de mantener o mejorar la habilidad o condición física de los jugadores del equipo (Fuller et al., 2006).

$$I.L.E. = N^{\circ} \text{ de lesiones} \times 1000 \text{ horas} / \text{Exposición a entrenamiento (h.)} \quad [14]$$

Los diversos autores han obtenido resultados comprendidos entre 5-6 lesiones por cada 1000 horas de exposición (Andersen, Floerenes et al., 2004; Arnason et al., 1996; Ekstrand et al., 2006; Hagglund et al., 2003; Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2005; Lüthje et al., 1996; Morgan & Oberlander, 2001; Peterson et al., 2000; Walden et al., 2005a), teniendo como valores márgenes de 1,8 lesiones (Lüthje et al., 1996) a 11,8 lesiones (Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2005).

Los estudios realizados por Junge en diversas competiciones internacionales nos muestran, que la incidencia de lesión en entrenamiento es entre 4 – 6 veces menor que en competición (Junge, Dvorak, & Graf-Baumann, 2004; Junge, Dvorak, Graf-Baumann et al., 2004).

#### 1.4.2.3.4. Incidencia de lesión en pretemporada

Walden (2005b) realizó un estudio con 11 equipos pertenecientes a 7 países europeos y que a la vez participaban en la Champions League. Obtuvo una incidencia de lesión mayor en temporada que en pretemporada (9,7 les./1000h. en temporada frente a 8,2 les./1000h. en pretemporada).

Por otro lado, este estudio, diferencia entre el entrenamiento y la competición, observando que la incidencia de lesión en competición es mayor en la temporada, con respecto a la pretemporada (30,9 les./1000h. vs. 28,6 les./1000h.), ver tabla 5.

**Tabla 5.-** Incidencia de lesión durante la pretemporada y la temporada competitiva. Adaptado de Walden y colaboradores (2005b).

<b>Walden et al. 2005b</b>	<b>Total</b>	<b>Competición</b>	<b>Entrenamiento</b>
<i>Temporada</i>	9,7	30,9	4,8
<i>Pretemporada</i>	8,2	28,6	5,2

Resulta también interesante, la mayor incidencia de lesión obtenida en entrenamiento durante la pretemporada (5,2 les./1000h.) comparada con la del entrenamiento durante la temporada (4,8 les./1000h.), sin ser significativas estas diferencias.

Según indica Hawkins (2001), la mayor incidencia de lesión en pretemporada es fundamentalmente debido a las sobrecargas musculares, siendo un 10 % de las lesiones en pretemporada, frente a un 5,8% de las lesiones en temporada ( $p < 0,01$ ). Según este estudio, la incidencia de lesión en entrenamiento disminuyó durante la temporada ( $p < 0,05$ ), mientras que la incidencia de lesión en competición fue mayor durante el mes de Agosto ( $p < 0,05$ ) (Hawkins et al., 2001).

#### 1.4.2.3.5. Incidencia de lesión en partidos amistosos

Por partidos amistosos se entiende todos aquellos partidos no competitivos, jugados contra otros equipos del mismo club (filial), u otros clubes diferentes, pero cuya

finalidad principal no es la victoria, sino la preparación para la competición. En este tipo de partidos, no se han encontrado en la literatura trabajos que muestren diferencias significativas, comparando con los partidos de competición, siendo menor el riesgo de sufrir una lesión en los partidos amistosos (24,8 frente a 35,2 les./1000h.,  $p = 0,061$ ) (Morgan & Oberlander, 2001).

#### **1.4.2.4. Metodologías para el registro de lesiones en el fútbol**

La principal herramienta, que se ha utilizado, en las principales investigaciones, para el registro de la incidencia de lesión en el fútbol profesional, es el cuestionario. Entendiendo por cuestionario, un proceso de recogida de información a través de la cumplimentación de una serie de preguntas (Visauta, 1989).

Tras la revisión realizada de la literatura, encontramos tres metodologías diferentes para el registro de lesiones en el fútbol profesional. Todas ellas utilizan el cuestionario como herramienta fundamental para recopilar toda la información necesaria.

##### ***1.4.2.4.1. Canadian Intercollegiate Sport Injury Registry Football***

Ésta fue publicada en 1998 por William H. Meeuwisse. Se centra en la recogida de información principalmente relacionada con el día de producción de la lesión, diferenciando desde el primer momento si la lesión se produjo en entrenamiento o en competición, y el momento que se produce dentro de la sesión (calculándolo mediante el tiempo de sesión que había transcurrido). Además recoge información sobre las condiciones climatológicas, el tipo de superficie de juego y sus condiciones (Meeuwisse & Love, 1998).

##### ***1.4.2.4.2. F-MARC***

Este cuestionario surge de un proyecto realizado por la FIFA, tras la necesidad de crear una metodología específica para el registro de lesiones, que fuera asumida por todos los investigadores en esta temática, y que permitiera a partir de ese momento, una

comparación de los resultados obtenidos a partir de los diferentes estudios (Fuller et al., 2006) .Esta metodología de estudio fue publicada en el año 2006 en varias revistas internacionales de este ámbito, (*British Journal of Sports Medicine, American Journal of Sport Medicine* y *Clinical Journal of Sport medicine*) por varios autores de prestigio, con diversas publicaciones que resumiremos a continuación.

El cuestionario, estaba constituido por cuatro documentos. En cada uno de ellos se recoge la siguiente información:

- En el primer documento, se recogen datos socio-demográficos de los jugadores. Esta información es la siguiente:
  - Código del jugador.
  - Posición de juego.
  - Edad.
  - Estatura.
  - Peso.
  - Pierna dominante.
  - Lesiones previas.
  
- El segundo documento, figura 10, se centra en la información relacionada con la lesión en sí. Cada lesión requiere un documento como este de manera individual. Se registra la siguiente información:
  - Fecha de producción.
  - Fecha de vuelta a la completa participación.
  - Parte del cuerpo lesionada.
  - Tipo de lesión.
  - Diagnóstico.
  - La lesión es recidiva.
  - La lesión es traumática o sobrecarga.
  - La lesión es en entrenamiento o en competición.

- Hubo contacto en el momento de producción.
- Se violó el reglamento en el momento de producción.
- El tercer documento registra la exposición en minutos de cada uno de los jugadores de manera individual, diferenciando el entrenamiento de la competición.
- El cuarto documento registra la exposición de todo el conjunto del equipo. El cálculo que utiliza para ello, es el número de jugadores que participan por el número de minutos de exposición. En este también se diferencia entre la exposición a entrenamiento y a competición.



**FIFA F-MARC**  
FIFA MEDICAL ASSESSMENT  
RESEARCH CENTER  
*For the Good of the Game*

**Injury Report Form**

(Team) Player-code: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

**LOGO**

**1A Date of injury:** \_\_\_\_\_ **1B Date of return to full participation:** \_\_\_\_\_

**2A Injured body part**

<input type="checkbox"/> head / face	<input type="checkbox"/> shoulder / clavícula	<input type="checkbox"/> hip / groin
<input type="checkbox"/> neck / cervical spine	<input type="checkbox"/> upper arm	<input type="checkbox"/> thigh
<input type="checkbox"/> sternum / ribs / upper back	<input type="checkbox"/> elbow	<input type="checkbox"/> knee
<input type="checkbox"/> abdomen	<input type="checkbox"/> forearm	<input type="checkbox"/> lower leg / Achilles tendon
<input type="checkbox"/> low back / sacrum / pelvis	<input type="checkbox"/> wrist	<input type="checkbox"/> ankle
	<input type="checkbox"/> hand / finger / thumb	<input type="checkbox"/> foot / toe

**2B Injured body part**

<input type="checkbox"/> right	<input type="checkbox"/> left	<input type="checkbox"/> not applicable
--------------------------------	-------------------------------	---

**3 Type of injury**

<input type="checkbox"/> concussion with or without loss of consciousness	<input type="checkbox"/> lesion of meniscus or cartilage	<input type="checkbox"/> haematoma / contusion / bruise
<input type="checkbox"/> fracture	<input type="checkbox"/> muscle rupture / strain / tear / cramps	<input type="checkbox"/> abrasion
<input type="checkbox"/> other bone injury	<input type="checkbox"/> tendon injury / rupture / tendinitis / bursitis	<input type="checkbox"/> laceration
<input type="checkbox"/> dislocation / subluxation		<input type="checkbox"/> nerve injury
<input type="checkbox"/> sprain / ligament injury		<input type="checkbox"/> dental injury

other injury (please specify): \_\_\_\_\_

**4 Diagnosis** (text or Orchard code): \_\_\_\_\_

**5** Has the player had a **previous injury** of the same type at the same site (i.e. this injury is a recurrence)?

no  yes

If **YES**, specify date of player's return to full participation from the previous injury: \_\_\_\_\_

**6** Was the injury caused by **overuse** or **trauma**?

overuse  trauma

**7** **When** did the injury occur?

training  match

**8** Was the injury caused by **contact** or **collision**?

no  yes, with another player

yes, with the ball

yes, with other object (specify) \_\_\_\_\_

**9** Did the referee indicate that the action leading to the injury was a **violation of the Laws**?

no  yes, free kick / penalty  yes, yellow card  yes, red card

If **YES**, was the referee's sanction against:  injured player  opponent

© I.C.G. 2006

Figura 10.- Documento 2 del cuestionario F-MARC, propuesto por la UEFA.

#### **1.4.2.4.3. REINLE**

Cuestionario diseñado por Noya y colaboradores (2008) donde la metodología de registro que proponen respeta la propuesta del consenso publicado por la UEFA, teniendo en cuenta todos los aspectos que se ofrecen para los estudios relacionados con el registro de lesiones.

Con respecto al cuestionario F-MARC (Fuller et al., 2006) propuesto por la UEFA, todas sus cuestiones son incluidas en este cuestionario, pero además se añaden otras 23 nuevas cuestiones, que ayudarán a tener una información más completa.

Las 9 cuestiones que conforman el F-MARC, se centran en recoger información sobre la lesión y el mecanismo de producción en el cual esta se produce. Además el cuestionario REINLE recoge información sobre la actividad en la que se produce la lesión, diferenciando qué tipo de actividad es esta, en función del objetivo al que va dirigido la tarea, así como, su nivel de especificidad. También recoge información sobre el día en el cual el jugador sufre la lesión, recopilando información sobre la climatología y el estado del césped.

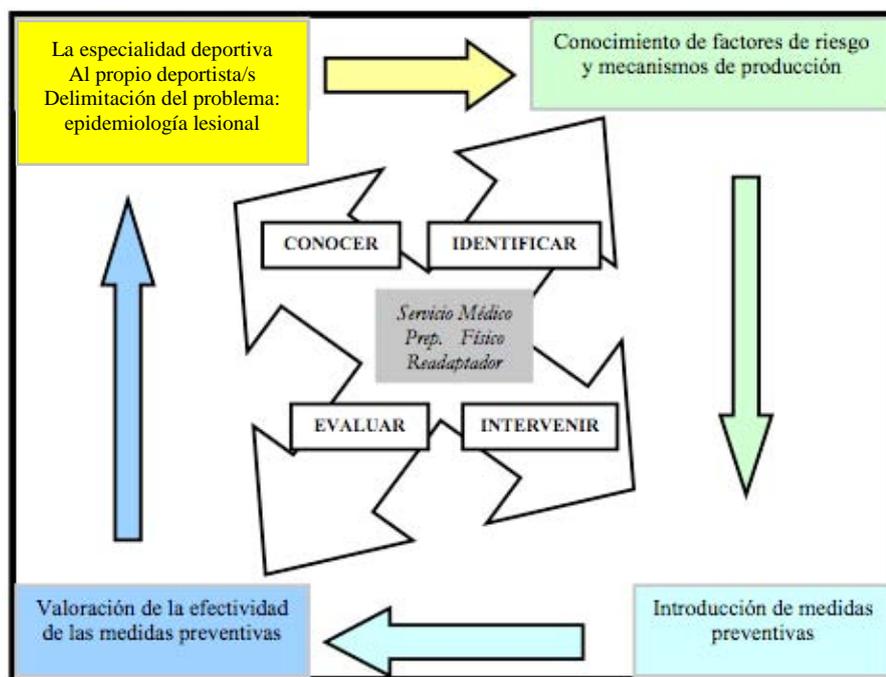
### **1.5. PREVENCIÓN DE LESIONES DEPORTIVAS EN FÚTBOL**

Como hemos visto en puntos anteriores, se ha demostrado que los deportistas de alto rendimiento tienen una elevada incidencia de lesión (Hagglund et al., 2003; Junge et al., 2002; Lewin, 1989; Walden et al., 2005a).

Esta situación hace que el deportista de alto rendimiento esté expuesto a un gran riesgo de lesión, por lo que debemos conocer y disponer de los métodos, medidas y principios necesarios para generar un programa preventivo sólido y paliar este problema que atañe a todos los profesionales del ámbito de la actividad física y del deporte.

La posibilidad de implementar un programa de prevención en un deporte determinado, requiere tener un amplio conocimiento del mapa de lesiones de dicho

deporte; para ello, es de vital importancia identificar y definir términos de incidencia y severidad de lesión, conociendo el alcance exacto de lo que supone una interrupción en el proceso de entrenamiento-competición para un deportista. Siguiendo la propuesta de Van Mechelen y colaboradores (1992) también se debería identificar y conocer los mecanismos que provocan esas interrupciones a las que se enfrentan los deportistas, para poder introducir las medidas preventivas adecuadas, que tengan verdadero potencial y se muestren eficaces (ver figura 11).



**Figura 11.-** Adaptación de la secuencia de prevención (Van Mechelen et al., 1992).

La introducción de las medidas de prevención debe tener en cuenta cada uno de los niveles que puede presentar el desarrollo de un programa preventivo: grupal e individual, de actuación directa e indirecta, pero siempre teniendo presente que es necesario adaptarse al entorno en el que se trabaja: nivel de los deportistas, equipamientos, instalaciones, tiempo disponible, etc.

El proceso finaliza cuando después de aplicar el programa preventivo se es capaz de valorar sus resultados, sin caer en correlaciones erróneas o en la búsqueda de relaciones de causalidad entre la aplicación del programa y los resultados obtenidos de manera ligera y sin evidencia científica. Por ello, después de la valoración también se

debe iniciar de nuevo el proceso, con la intención de mejorar la efectividad de las medidas preventivas, teniendo en cuenta el nuevo historial de lesión del equipo y del deportista, para ajustar las medidas preventivas a la aplicación de las nuevas características del grupo (Casáis, 2008).

El paso de diseñar e implementar programas preventivos adecuados para cada contexto y su posterior aplicación, exige una reflexión profunda acerca de las necesidades de los deportistas con los que se va a desarrollar el programa y el mejor modo de abordar el problema (Arjol, 2009; Howatson & Van Someren, 2008; Steffen et al., 2010; Van Mechelen et al., 1992).

### **1.5.1. VALORACIONES INICIALES PARA LA PREVENCIÓN**

Como dice Arjol (2009), previamente al comienzo del trabajo con o sin el equipo, será necesario recopilar y analizar toda la información relativa a cada deportista respecto a su historial de lesiones, nivel funcional, etc. En este sentido creemos que una buena referencia de los datos a recoger la constituye el protocolo de AEMEF (Asociación Española de Médicos de Equipos de Fútbol) para el reconocimiento médico, previo a la contratación de futbolistas, del que reproducimos a continuación los objetivos y puntos más importantes en los fichajes de deportistas profesionales (AEMEF, 2010).

Los *Objetivos* que se buscan con estas pruebas iniciales son:

- Identificar cualquier enfermedad, lesión previa o patología médica que puedan constituir un riesgo vital para el deportista, o bien puedan limitar su adaptación a altas cargas de trabajo físico así como una alta exigencia físico-psíquica durante la competición.
- Evaluar riesgos que puedan deducirse de su historia y exploración clínica que puedan tener trascendencia en la práctica deportiva.
- Establecer las estrategias y programar los controles necesarios para minimizar al máximo los riesgos de sufrir problemas médicos o lesiones.

- Indicar las primeras directrices para optimizar su rendimiento físico durante el resto de la temporada.
- Determinar la aptitud deportiva para la práctica de su deporte profesional.
- Satisfacer requerimientos legales.

Se propone un protocolo extenso de *Pruebas a realizar*, en el que se reconocen unas valoraciones imprescindibles para poder determinar la aptitud de la práctica deportiva para el alto nivel, y otras muy recomendables para obtener una valoración completa (AEMEF, 2010):

#### 1. Historia clínica.

#### 2. Exploración física.

- Valoración aparato locomotor.
- Sistema respiratorio.
- Sistema Cardiovascular.
- Abdomen.
- Sistema Nervioso.
- Valoración visual.
- Estudio odontológico.
- Valoraciones de desequilibrios y/o disfunciones mecánicas, musculares, articulares, ligamentosas o tendinosas.

#### 3. Pruebas complementarias.

- Electrocardiograma basal.
- Ecocardiograma.
- Espirometría basal forzada.
- Prueba de esfuerzo máxima con calorimetría indirecta y ECG (electrocardiograma).
- Analítica.

- Estudio podológico estático y dinámico.
- Antropometría.
- Pruebas radiológicas estándar.
- Ecografía de partes blandas.
- Resonancia Magnética.

A estas pruebas complementarias que menciona la AEMEF se le puede añadir otras que consideran importantes otros autores:

- Evaluación de las manifestaciones de la fuerza (Rahnama, Reilly, Lees, & Graham-Smith, 2003).
- Valoraciones biomecánicas de la carrera, la marcha y de gestos específicos del deporte (Hay, 1996).
- Valoraciones de desequilibrios de temperatura en las diferentes zonas corporales (Gómez, Sillero, Noya, Nuñez, & Fernandez, 2009; Gómez et al., 2008b).
- Valoraciones del equilibrio o propioceptivas (Tropp, Askling, & Gilquist, 1985).
- Valoraciones funcionales de las capacidades condicionales en campo (Svensson & Drust, 2005).

4. Análisis Nutricional (Bernardot, Ruiz Gabás, & Berrocal Domínguez, 2001).

5. Valoración psicológica y Socio-emocional (Balaguer, 1994; Mora, García, Toro, & Zarco, 2000).

Consideramos que estas evaluaciones recogen todos los puntos importantes que debemos conocer, sin cerrar la posibilidad a realizar otras valoraciones que se consideren necesarias en cada caso.

### 1.5.2. VALORACIONES CONTINUADAS PARA LA PREVENCIÓN

En el siguiente punto queremos referenciar las diferentes valoraciones que podemos realizar a los deportistas de forma continuada y regular a lo largo de una temporada. El objetivo es llevar un control y seguimiento más exhaustivos, poder anticiparnos a posibles lesiones, así como mejorar, individualizar y ajustar el entrenamiento a cada jugador, además de buscar las necesidades que requieren cada uno de ellos.

- ***Valoraciones de fuerza*** a través de diferentes medios tecnológicos como por ejemplo; Ergopower, Muscledlab, Globus Ergo-Sytem, Tensiomiografía, Sport Coach, Fytrodyne, etc. La fuerza y la potencia muscular son determinantes del éxito en diversas acciones del juego, tales como entradas, saltos, golpes, cambios de dirección y de sentido (Rahnama et al., 2003). Una reducción de la fuerza muscular en estas acciones podría incrementar la susceptibilidad del deportista a sufrir una lesión, particularmente en episodios de alta intensidad hacia el final de la competición o del entrenamiento (Hawkins et al., 2001; Rahnama, Reilly, & Lees, 2002). Como era de esperar, un acúmulo de entrenamientos y de partidos jugados, es decir, la inducción de fatiga aguda genera una disminución evidente de fuerza y de control motor en los principales grupos musculares que los hace propensos a mayor riesgo de lesión. Valorar la fuerza muscular periódicamente nos ayudará a evitar cualquier lesión inesperada e indeseable.
- ***Valoraciones del estado del organismo y la condición física***, con tecnología como por ejemplo el “Omegawave o Firsbeat Sport”, para un control de la fatiga y de la recuperación post-esfuerzo del deportista tomando de referencia la variabilidad de la frecuencia cardíaca como factores cruciales para asegurar un estado basal del mismo y evitar así un alto riesgo de padecer una lesión (Craig, 2005).

- ***Valoración y control del volumen de trabajo físico en competición***, a través de medios tecnológicos como por ejemplo; Memobserver, Casmas, Amisco, Prozone, etc., para conocer la distribución de los esfuerzos en competición de cada uno de nuestros deportistas y adaptarles los entrenamientos a sus necesidades, esto es considerado por la mayoría de los autores como una medida preventiva y de individualización del entrenamiento muy importante para evitar lesiones en los deportistas (Parkkari, Kujala, & Kannus, 2001).
- ***Valoración y control del volumen de trabajo físico en entrenamiento*** a través, por ejemplo, de pulsómetro o GPS. Acercar el entrenamiento a la competición con una correcta dinámica de las cargas puede considerarse una medida preventiva (San Román, 2009). El trabajo de Verral y colaboradores (2005) es alguno de los que conocemos que considera el acercar el entrenamiento a la competición como una medida preventiva.
- ***Valoración de la temperatura de las diferentes zonas corporales*** a través de la TI para un control de la temperatura corporal y, con ello, un control de sobrecargas y fatigas localizadas. Las diferentes zonas corporales deben tener un equilibrio en temperatura, en el momento que este equilibrio no existe, el riesgo de sufrir una lesión aumenta considerablemente (Gómez et al., 2008a).
- ***Valoraciones fisiológicas***, como la concentración de lactato y el consumo máximo de oxígeno del deportista, para valorar el estado del jugador, su recuperación post-esfuerzo y para poder cuantificar la carga de entrenamiento (Verkhoshansky, 1990).
- ***Analíticas***, como por ejemplo un hemograma completo y bioquímica de parámetros generales de salud, con el primer objetivo de prevenir la aparición de patologías inespecíficas, con el segundo objetivo de cuantificar las cargas de trabajo que prevendría la aparición de lesiones por sobrecarga

y con el tercer objetivo de conocer y recuperar mejor la fatiga deportiva, lo que también nos ayudaría a prevenir lesiones (Fernández, 2009).

Uno de los posibles candidatos contemplados para denotar la fatiga aguda ha sido la depleción de glucógeno muscular, fundamentalmente en microciclos de elevada densidad competitiva en los que una correcta recuperación ergogénica se torna todavía más esencial, ya que el nivel de repleción de las reservas de glucógeno antes de un encuentro es un factor decisivo en la posterior manifestación de la fatiga (Reilly, 1997; Reilly, Drust, & Clarke, 2008).

Para muchos deportistas, fundamentalmente los profesionales, asumir múltiples sesiones de entrenamiento en una jornada o afrontar más de un partido de competición por semana, supone un coste energético substancial, por lo que es de una importancia capital conocer dichos requerimientos y su relación con la fatiga (Burke, Loucks, & Broad, 2006).

Los resultados de las últimas investigaciones han sugerido que tal vez la fatiga vinculada a la depleción de sustratos, no sea debida al agotamiento total del glucógeno muscular, sino a la depleción en fibras musculares específicas (fibras glucolíticas rápidas) determinantes en el rendimiento de las acciones intermitentes de alta intensidad (Krustrup et al., 2006).

- **Valoraciones socio-emocionales** a través de cuestionarios específicos o entrevistas. No solo debemos de controlar la fatiga neuromuscular sino también la fatiga emocional, sensorial o mental que genera todo el entorno social del jugador.

En muchas ocasiones, las situaciones ambientales y personales de cada deportista pueden ocasionarles un estrés, provocando así un alto riesgo de sufrir una lesión y que disminuya su rendimiento (Andersen & Williams, 1988, 1993).

### **1.5.3. MEDIDAS BÁSICAS PARA LA PREVENCIÓN**

Para desarrollar un protocolo de prevención de lesiones debemos conocer y saber utilizar algunas de las medidas básicas para la prevención. A continuación profundizaremos en algunas de las más importantes propuestas por la bibliografía consultada.

#### **1.5.3.1. Trabajo de fuerza excéntrico**

Si se produce un alargamiento del músculo separando sus puntos de inserción, se habrá realizado una *contracción isotónica excéntrica*. Estas contracciones se producen generalmente a favor de la gravedad, produciendo una acción de frenado del movimiento (Askling, Karlsson, & Thorstensson, 2003).

En los últimos años han surgido publicaciones que fundamentan los beneficios del trabajo excéntrico con una doble intención: mejorar los valores de fuerza muscular desarrollados por el deportista, y ejercer una función protectora en la prevención de lesiones (Askling et al., 2003; Brockett, 2001).

#### **1.5.3.2. Trabajo de mejora del rango de amplitud articular**

Como determinan Ibrahim y colaboradores (2007) en sus estudios, el rango de amplitud articular, ROM (*range of motion*), puede considerarse un factor etiológico para las lesiones de deportistas profesionales. Algunos autores han encontrado predisposición a lesionarse en deportistas con niveles bajos del rango de amplitud articular (Gleim & McHugh, 1997; Norris, 1998).

#### **1.5.3.3. Trabajo de propiocepción**

La propiocepción en el trabajo preventivo actúa para preservar la integridad de los valores normales que aportan estabilidad y control neuromotor, además de evitar una posterior recaída (Cerulli, Benoit, Caraffa, & Ponteggia, 2001).

En las últimas tres décadas, este tipo de trabajo propioceptivo se ha instaurado en el campo de la prevención de lesiones, siendo uno de los estudios pioneros el de Tropp y colaboradores (1985), que observaron que en futbolistas, tras seis semanas de entrenamiento de propiocepción con el disco de Freeman, había mejorado el equilibrio monopodal. A partir de este estudio, se sucedieron en las dos décadas siguientes estudios que evidenciaron el hecho de que la prevención más efectiva de las lesiones era a través de planes de prevención, que tenían como contenido principal el entrenamiento de propiocepción neuromuscular.

#### **1.5.3.4. Control de la fatiga**

Lejos de artificios o medidas pretendidamente complicadas, todo lo referido a “continuación” puede resumirse y aplicarse en el día a día del entrenamiento, en cualquier categoría, bajo un lema sencillo: “parar a tiempo”, es decir, no dejar que la fatiga suponga un factor de riesgo. Por tanto, una de las medidas de prevención más eficaces será el descanso o la mejora de la recuperación. Y de manera indirecta, la otra gran medida “fácilmente” implementable será entrenar bien (Casáis, 2009).

Pero para poder “parar a tiempo” deberemos tener y controlar parámetros que nos avisen que el deportista está entrando en un proceso de fatiga. Para tener controlado este tipo de procesos podemos utilizar los datos substraídos de analíticas, de las valoraciones de fuerza, de la termografía y de las valoraciones del estado del organismo. Todos estos datos adquiridos los contrastaremos con las propias sensaciones del deportista, que al final, son las más importantes (Rahnama et al., 2003).

#### **1.5.3.5. Recuperación activa y pasiva post-ejercicio**

**Recuperación Activa:** Se ha contrastado como a corto plazo la carrera continua de baja intensidad favorece el descenso más veloz de la concentración de ácido láctico en sangre (Ahmaidí, Granier, & Taoutaou, 1996; Monedero & Donne, 2000; Taoutaou et al., 1996), sugiriéndose el aumento del flujo sanguíneo, que produciría una rápida eliminación del lactato en sangre mediante su oxidación por el hígado, corazón y músculo, como el mecanismo fisiológico. Esta eliminación del lactato sanguíneo es la

que permitiría un vaciamiento más rápido del lactato acumulado en el músculo (aclarado de ácido láctico muscular) al torrente sanguíneo, al mantenerse elevado el gradiente entre músculo y sangre, descendiendo la acidez en la fibra muscular (incremento del pH) apuntada como factor de deterioro del funcionamiento contráctil (Terrados, Mora, & Padilla, 2004). Es este aclarado muscular uno de los posibles efectos beneficiosos de forma retardada de la carrera continua de baja intensidad.

El ritmo de aclarado del lactato muscular dependerá de diversos factores:

- Músculos empleados durante la recuperación activa. Terrados y colaboradores (2004) sugieren la realización de este medio de recuperación activa con los mismos músculos implicados en el ejercicio causante de fatiga aguda, ejecutando la actividad predominante en la disciplina deportiva, en este caso la carrera, en la que los músculos de las extremidades inferiores son los que mayor estrés sufren a consecuencia de la actividad competitiva en el fútbol.
- Intensidad del ejercicio de recuperación. En cuanto a la intensidad de la carrera continua, ésta debe ser lo suficientemente grande como para que los músculos activos y otros órganos empleen ese lactato como combustible para sus funciones energéticas, pero sin alcanzar una intensidad que provoque una alta producción de ácido láctico. Por lo tanto, lógicamente, la intensidad deberá hallarse por debajo del umbral láctico en función de cada jugador (30% -65%  $VO_{2max}$ ) (Baldari, Videira, Madeira, Sergio, & Guidetti, 2004; Lattier, Millet, Martin, & Martin, 2004; Monedero & Donne, 2000).
- La duración del ejercicio de recuperación. En diversas investigaciones se recomienda duraciones de entre 15-20 minutos (Baldari et al., 2004; Lattier et al., 2004; Weltman, Stamford, & Fulco, 1979). Pero debemos tener en cuenta que lo ideal es realizarlo justo después del esfuerzo post-partido y no al día siguiente. Después de un partido que produzca la máxima concentración de lactato ( $22 \text{ mmol.l}^{-1}$ ), se tardarán 15 min. en reducir dichos niveles a la mitad con recuperación total, 30 min. el 75% y alrededor de 60 min. para lograr el 95% de aclarado, por lo que la duración ideal de la recuperación activa dependerá de la cantidad de lactato producido (Terrados

et al., 2004). En el fútbol, por ejemplo, la concentración de lactato no es excesivamente elevada, fundamentalmente al final de los encuentros, en donde debido a la modificación de la tendencia y de la utilización de sustratos hace que se hayan registrado valores de entorno los 6 – 8 mmol.l<sup>-1</sup> (Bangsbo, 1994; Krstrup, Mohr, Steensberg, Bencke, & Kjaer, 2003; Krstrup et al., 2006; Roi, Sisca, Perondi, Diamante, & Nanni, 2003).

***Recuperación Pasiva:*** Las estrategias para optimizar la recuperación después del ejercicio físico intenso son esenciales para mejorar, o al menos mantener, el rendimiento en posteriores eventos deportivos. De hecho, diferentes estrategias de recuperación pasiva, como la hidroterapia y los estiramientos, son rutinariamente ejecutados en los deportes de equipo por los atletas después de la competición y el entrenamiento. Antes de profundizar en las estrategias de recuperación pasiva mencionadas, debemos recalcar la importancia que la literatura da al sueño como principal estrategia de recuperación (Bompa, 1994; Calder, 2003; García Manso, 1999; Reilly, 1994). Reilly (1994) nos dice en su trabajo que entre 7-9 horas de sueño, 80-90% durante la noche, proporcionan el tiempo adecuado de adaptación ante estresores físicos, neurológicos y emocionales. También se han descrito efectos positivos de la siesta sobre distintas habilidades cognitivas, pudiendo ser beneficiosa en jornadas en las que tengan lugar sesiones de aprendizaje y adquisición técnica, táctica o estratégica, siempre y cuando no altere los horarios habituales de sueño del deportista (Halson, 2008).

Para la recuperación pasiva post-ejercicio se ha estudiado con detalle los beneficios de los estiramientos de tipo pasivos con el objetivo de relajar al músculo, y los estiramientos de tensión activa con el objetivo de estirar otras estructuras no musculares como son los tendones, los cuales, suelen sufrir bastante carga y tensión durante el ejercicio (Reilly & Ekblom, 2005).

En otros estudios, como en el de Cochrane (2004), se observa como el contraste de inmersión en agua, el proceso de alternar agua fría y caliente, ha ganado popularidad, sobretodo, en deportes como el fútbol (Banfi, Melegati, & Valentini, 2007). La evidencia científica destaca su eficacia para mejorar o mantener el rendimiento o la

intensidad del ejercicio siguiente (Barnett, 2006). En concreto, sólo hay evidencia limitada, de estudios bien controlados que investigan la eficacia de la inmersión en agua fría (Bailey et al., 2007; Banfi et al., 2007; Bosak et al., 2006; Lane & Wenger, 2004), inmersión en agua caliente (Kuligowski, Lephart, Giannantonio, & Blanc, 1998), y el contraste de inmersión en agua (Coffey, Leveritt, & Gill, 2004; Dawson, Gow, Modra, Bishop, & Stewart, 2005; Vaile, 2007) para mejorar la recuperación post-ejercicio.

Otros autores, como Barnett (2006) y Kennet (2007), sugieren que las estrategias de recuperación no solo deben limitarse a un método. De hecho, una combinación de estrategias de recuperación (por ejemplo, la crioterapia (8' frío) o baños de contrastes (3' calor/1' frío) junto con una recuperación activa, marcha o carrera en agua) favorece y promueve el proceso de recuperación. Sin embargo, la eficacia de las combinaciones de dicha recuperación para cualquier deporte no han sido investigadas a fondo (Barnett, 2006).

#### **1.5.3.6. Adecuación de la carga de entrenamiento**

Uno de los mejores métodos para prevenir lesiones es establecer al grupo de deportistas una carga de entrenamiento adecuada y no excesiva (Andersen & Williams, 1988). Para ello se puede cuantificar la carga de entrenamiento a través de tres métodos diferentes, como determina Hopkins (1991) en su trabajo:

- Observacionales: que permiten la cuantificación en tiempo real, empleando nuevas tecnologías como el video o el ordenador.
- Fisiológicas: dentro de las cuales establecemos parámetros, como la concentración de lactato y la monitorización de la frecuencia cardiaca. En este punto podemos utilizar también parámetros como la temperatura muscular o la variabilidad de la frecuencia cardiaca (Sillero & Gómez, 2010).
- Subjetivos: a través del uso de cuestionarios, escalas (Borg) o diarios.

### 1.5.3.7. Trabajo de Flexibilidad

La utilización de la flexibilidad como método de prevención ha sido y es tema de mucha controversia a lo largo de los últimos años. Dos son las estrategias fundamentales que siguen los estudios a la hora de conocer la influencia de los niveles de flexibilidad en la producción de lesiones. Por una parte determinar si el aumento de la flexibilidad predispone a la lesión, y por otra parte si la mejora de la flexibilidad puede actuar como elemento protector y preventivo de lesiones. Algunos autores aluden a la hipomovilidad (Arnason et al., 2004b; Petersen & Holmich, 2005) o hipermovilidad (Thacker, Gilchrist, Stroup, & Kimsey, 2004; Witvrouw, Danneels, Asselman, D'Have, & Cambier, 2003; Witvrouw, Mahieu, Danneels, & McNair, 2004) como factor de riesgo en la producción de lesiones.

Por ejemplo, según algunos estudios la flexibilidad es un aspecto preventivo importante en la musculatura del cuádriceps y de los isquiotibiales (Liemohn, 1978; Witvrouw et al., 2004; Worrell, Perrin, Gansneder, & Gieck, 1991) pero no de aductores (Tyler, Nicholas, Campbell, Donellan, & McHugh, 2002; Witvrouw et al., 2003), es decir, ser más flexible en esa determinada musculatura no va a provocar menos lesiones en aductores, pero sí en cuádriceps e isquiotibiales. Opuestos a estas conclusiones están los estudios de Ekstrand y colaboradores (1983); que encontraron que jugadores de fútbol con acortamiento en la musculatura aductora mostraban mayor riesgo de sufrir lesiones musculares.

Otros autores, como Casáis, defienden la idea de que el entrenamiento y la mejora de la flexibilidad está programado para preservar a los deportistas de posibles lesiones musculares por un estiramiento superior al rango de sollicitación habitual en el deporte. Para estos autores, parece adecuado lograr un buen nivel de flexibilidad residual (nivel de elongación, siempre superior al de trabajo, que el deportista debe desarrollar para evitar rigideces que puedan afectar a su grado de movimiento en sus gestos deportivos), para tener un rango articular y muscular de reserva, por si algún gesto inesperado o no habitual es superior a los gestos de la flexibilidad o movilidad de trabajo (Casáis, 2005).

### **1.5.3.8. Estiramientos**

Los estiramientos se han constituido en una modalidad pre, post-entrenamiento y competición comúnmente empleada dentro del deporte de rendimiento (Dadebo et al., 2004). Distintas finalidades han sido atribuidas a esta técnica de entrenamiento deportivo: como medio para la reducción del riesgo de lesiones (Shrier, 2000; Weldon, 2003), para la mejora del rendimiento deportivo (Shrier, 2002) ó como método de recuperación neuromuscular post-ejercicio (Barnett, 2006; Connolly, Sayers, & McHugh, 2003; Herbert & Gabriel, 2002), esta última finalidad se relaciona estrechamente con el trabajo de flexibilidad.

Como muchos estudios demuestran, antes de cualquier entrenamiento o partido, en la fase de calentamiento, es más beneficioso para el rendimiento realizar estiramientos activos y dinámicos con una duración de no más de 10'' y no menos de 6'' (Fletcher & Monte-Colombo, 2010). Por otro lado, el estiramiento pasivo se recomienda utilizar para la recuperación después de una sesión de entrenamiento ó competición (Barnett, 2006).

### **1.5.3.9. Reforzamiento del cinturón lumbo-pélvico**

El reforzamiento de estructuras que fijan y estabilizan el cinturón lumbo-pélvico es una de las necesidades del deportista, debido a que es el epicentro de cualquier movimiento en el deporte. Compensar los niveles de desarrollo de fuerza de otras estructuras musculares excesivamente solicitadas por la especialidad, como la musculatura aductora en el fútbol, resulta fundamental en la prevención de desajustes y compensación de las tensiones a los que está sometida la columna vertebral (Forte, 2007; Tropp, Ekstrand, & Gillquist, 1984).

### **1.5.3.10. Control de peso, asesoramiento y suplementación nutricional**

Numerosos autores han demostrado como el exceso de peso (Bahr & Holme, 2003; Dvorak et al., 2000) es un factor intrínseco de riesgo lesivo importante para deportistas.

Por un lado, se aconseja asesorar nutricional e individualmente a los deportistas, en función de la composición corporal de cada uno de ellos, con el objetivo de conseguir unas adecuadas reservas energéticas en forma de glucógeno muscular que se han de adquirir a partir de los carbohidratos de la dieta: 50-60% de la energía diaria total, las proteínas deben cubrir entre un 15-20 % y las grasas no sobrepasar un 25 % de las calorías diarias (Bernardot et al., 2001). Como indica Fernández (2009), para controlar que los jugadores cumplen con los asesoramientos y no realizan excesos con la comida, se puede llevar a cabo un control del peso de forma periódica. Cada jugador debe tener su peso, su porcentaje de masa muscular y de grasa ideal. Además, no podemos descuidar una buena hidratación (antes, durante y post-ejercicio) para una reposición electrolítica y evitar una disminución del líquido extra-celular y del peso corporal del deportista (Gatterer et al., 2011; Shirreffs, 2010).

Por otro lado, dado el gran desgaste que tiene para el deportista entrenar diariamente, varios estudios demuestran los beneficios que tiene suministrar un complejo poli-vitamínico que incluya minerales tan imprescindibles para la contracción y la relajación muscular como el calcio y el magnesio (Arent, Pellegrino, Williams, Difabio, & Greenwood, 2010; Geyer, Braun, Burke, Stear, & Castell, 2011; C. Goodman et al., 2011).

#### **1.5.3.11. Farmacología**

La competición puede ocasionar estrés hormonal que conduzca a un aumento de diversas sustancias conocidas por su influencia sobre la función leucocitaria, cuya capacidad numérica y funcional puede verse reducida tras el ejercicio intenso (Nieman & Bishop, 2006; Reilly & Ekblom, 2005; Shephard, 1989). Varios cambios producidos en la función inmune podrían contribuir a un debilitamiento de la respuesta ante agentes patógenos y a un incremento de la vulnerabilidad ante infecciones en las horas siguientes al ejercicio, descrito como hipótesis de “*open-window*” (Nakamura, Akimoto, Suzuki, & Kono, 2004; Nieman & Bishop, 2006).

Dado este fenómeno, podemos plantearnos suministrar a nuestros deportistas los fármacos necesarios para ayudar a reducir la posibilidad de sufrir los efectos del fenómeno “*open-window*”.

#### **1.5.3.12. Medias de compresión y vendajes**

Las medias de compresión, hasta ahora utilizadas principalmente en el ámbito médico (para prevenir varices, evitar el síndrome de la clase turista o para favorecer la circulación en personas hospitalizadas), se están extendiendo entre los deportistas, por lo que cada vez es más habitual ver atletas que utilizan estas medias largas, que llegan hasta la rodilla o cintura. Son unas medias fabricadas en nylon (88%) y lycra (12%) cuya característica principal es que aplican una compresión decreciente en la pierna (mayor compresión en el tobillo y menor en la pantorrilla) que mejora la circulación sanguínea y facilita el retorno de la sangre venosa, ayudando de este modo la oxigenación de los músculos y el drenaje de las toxinas acumuladas en el esfuerzo físico, favoreciendo así la recuperación al esfuerzo y evitando en mayor medida una fatiga aguda, principal causa de lesión en el deporte (Kemmler et al., 2009). Algunos estudios, como el de Rimaud y colaboradores (2010); demuestran como el uso de dichas medias favorecen la remoción de lactato durante la recuperación.

Por otro lado, en el mundo del deporte los conceptos en traumatología de la inmovilización rígida y el reposo han ido transformándose en lo que hoy se conoce como tratamiento funcional de las lesiones: inmovilizaciones funcionales que no exigen reposo y que además permiten conservar la movilización de estructuras no lesionadas, pudiendo asociarse tratamiento rehabilitador si fuera necesario. Dentro de este concepto del tratamiento funcional tenemos los vendajes funcionales que son aquellos que intentan mantener, estabilizar y/o suplir unas estructuras biológicas determinadas que han sido lesionadas (vendaje terapéutico) o van a ser sometidas a estrés (vendaje preventivo) (Fernández de Sousa-Díaz, 1993).

Hay que evitar la dependencia psicológica a los vendajes. En ciertos deportes es posible colocar de forma sistemática un vendaje funcional preventivo durante las competiciones o entrenamientos, éste debe ser complementado por sesiones específicas

de reforzamiento muscular que evitan una disminución del control activo de la articulación cuando ésta no se encuentra protegida por el vendaje (Novoa & Pérez, 2009).

#### **1.5.3.13. Factores psicológicos y emocionales**

Como hemos mencionado en puntos anteriores, no solo debemos controlar la fatiga neuromuscular sino también la fatiga emocional, sensorial o mental que genera todo el entorno social o deportivo del jugador. En muchas ocasiones las situaciones ambientales y personales de cada jugador pueden ocasionarles un estrés, provocando así que tengan un alto riesgo de sufrir una lesión y una disminución de su rendimiento (Andersen & Williams, 1988, 1993).

Autores como Pep Mari (2009) aconsejan en su manuscrito el entrenamiento de habilidades psicológicas que ayuden al deportista a adaptarse mejor a la alta exigencia competitiva:

- Control de la activación: las técnicas de relajación o activación serán de vital importancia para conseguir el “punto óptimo” de tensión muscular para el entrenamiento y la competición.
- El entrenamiento de los distintos estilos de atención y su adaptación a las diferentes exigencias deportivas. Un adecuado establecimiento de objetivos que consigan un nivel de motivación óptimo, evitando la rutina y la monotonía en el entrenamiento o esfuerzos intensos de alto riesgo de lesión muscular.

#### **1.5.3.14. Preparación física fuera de la temporada competitiva**

La mejora en el periodo transitorio es necesaria para compensar el déficit y las disfunciones producidas por el exceso de especificidad y, así mismo, facilitar la regeneración de aquellas zonas más solicitadas (Tarragó, 2009).

Varios autores (Bahr & Holme, 2003; Meeuwisse & Love, 1998; Tarragó, 2009) defienden que un programa físico para los periodos transitorios o vacacionales provocará que el deportista no se incorpore a los entrenamientos con una condición física baja, generando un choque de carga menor y, por tanto, un menor riesgo de sufrir lesión (Tarragó, 2009).

#### **1.5.3.15. Ejercicios de coordinación y técnica específica del deporte**

Un caso muy corriente en el deporte es encontrar deportistas con una técnica de carrera, de golpeo al balón o apoyos plantares no adecuados o correctos, es decir, sus habilidades y destrezas coordinativas son defectuosas debido a que el trabajo de estas últimas fueron escasas o nulas en sus etapas inferiores (Chomiak, Junge, Peterson, & Dvorak, 2000; Dvorak et al., 2000). Estos gestos técnicos incorrectos pueden generar descompensaciones, problemas de lumbar, lesiones cartilaginosa, meniscopatías de rodilla o cualquier otro problema musculoesquelético (Bahr & Holme, 2003). Por tanto, una buena educación del gesto deportivo es una medida más que puede ayudarnos a prevenir diferentes tipos de lesión (Gómez & Noya, 2008).

#### **1.5.3.16. Masaje**

El masaje ha sido utilizado en el tratamiento de enfermedades y lesiones durante miles de años (Goats, 1994). Escritos chinos, que datan del 2500 a. de C., describen el uso de esta modalidad para una variedad de objetivos médicos (Cassar, 2004; Goats, 1994; Holey & Cook, 2003).

El masaje ha sido promovido como un tratamiento de elección para numerosos problemas, tales como lesiones músculo-esqueléticas, cáncer y estrés. (Holey & Cook, 2003). Los fisioterapeutas que se especializan en medicina del deporte a menudo utilizan técnicas de masaje para ayudar a un atleta en la recuperación de un ejercicio intenso o como una opción de tratamiento cuando se realiza terapia de rehabilitation (Galloway & Watt, 2004).

El masaje deportivo se ha sugerido como un medio para ayudar a preparar a un atleta para la competición, como una herramienta para mejorar el rendimiento deportivo, como un enfoque de tratamiento para ayudar al atleta a recuperarse después del ejercicio o la competición, y como una intervención de terapia manual para los deportes relacionados con lesiones músculo-esquelético (Galloway & Watt, 2004). Dentro de este ámbito podemos distinguir varios tipos de masaje; pre-ejercicio, intra-ejercicio, post-ejercicio y rehabilitador de una lesión, que pueden ayudar en la prevención y recuperación de lesiones deportivas (García & Seco, 2001).

Los estudios científicos sobre los efectos fisiológicos y psicológicos del masaje deportivo son escasos y controvertidos, ya que aunque se observan cambios del flujo sanguíneo a nivel local (subcutáneo), no están claros los cambios a nivel profundo y su efecto metabólico, por lo tanto, su eficacia real es cuestionada (Best, Hunter, Wilcox, & Haq, 2008; Nichols & Harrigan, 2006). Sin embargo, son muchas las impresiones subjetivas por parte de los deportistas sobre el efecto beneficioso del masaje en su recuperación y en su rendimiento (Hilbert, Sforzo, & Swensen, 2003).

#### **1.5.4. PROGRAMAS PREVENTIVOS**

Tras consultar la bibliografía podemos concluir que a la hora de desarrollar un programa preventivo, se pueden organizar las sesiones o aplicar los contenidos del programa preventivo de dos formas:

1. Una primera, con orientación más general atendiendo a los problemas generados por la propia especialidad, datos que se extraerán del perfil de lesión del deporte, y equipo; pudiendo organizar estos programas en partes de la sesión (calentamientos, parte principal o vuelta a la calma) de manera grupal.
2. La otra orientación será más específica y para su organización se atenderá a las necesidades individuales de cada jugador, se podrá desarrollar antes de los entrenamientos con sesiones individualizadas, o en sesiones de grupos más reducidos, lo que provoca una mayor y mejor atención.

### 1.5.4.1. Programas preventivos generales

Las principales propuestas preventivas generales referenciadas en la literatura basan sus propuestas en el trabajo “multiestación”, reuniendo ejercicios que presentan evidencias científicas dirigidas a la protección de las estructuras músculo-tendinosa y articular del tren inferior.

Un ejemplo de los programas preventivos más extendidos en el deporte, dirigido a la prevención de LCA, es el **PEP Program**, diseñado por *Santa Monica Orthopaedic Group* (2008b), y que de forma resumida se presenta a continuación (ver Tabla 6):

**Tabla 6.- PEP Program: ACL Prevention Program**, traducida y adaptada de *Santa Monica Orthopaedic Group* (2008b).

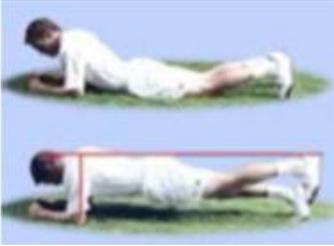
<p><b>Fase 1: Calentamiento</b> (todo 1 minuto)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Corre en línea (de cono a cono)</li> <li>2. Carrera lateral (de un lado a otro)</li> <li>3. Carrera de espaldas</li> </ol>	<p><b>Fase 2: Estiramientos</b> (30 segundos x 2 reps)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estiramiento de gemelo.</li> <li>2. Estiramiento de cuádriceps.</li> <li>3. Estiramiento de isquios.</li> <li>4. Estiramientos de abductores.</li> <li>5. Estiramientos de cadera</li> </ol>
<p><b>Fase 3: Fortalecimiento</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zancadas (3x10).</li> <li>2. Isquios (3x10).</li> <li>3. Extensiones de tobillo (30x2).</li> </ol>	<p><b>Fase 4: Pliometria</b> (20 repeticiones)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Saltos laterales sobre un cono.</li> <li>2. Saltos hacia delante-atrás sobre un cono.</li> <li>3. Saltos con una pierna.</li> <li>4. Saltos verticales.</li> <li>5. Saltos en tijera.</li> </ol>
<p><b>Fase 5: Agilidad</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cambios de dirección adelante-atrás.</li> <li>2. Correr en diagonal (3 pasadas).</li> <li>3. Carrera con Saltos (44 yardas)</li> </ol>	<p><b>Fase 6: Vuelta a la calma</b> (30 segundos x 2 reps) excepto el 1º 30 repeticiones</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Puente sobre una pierna.</li> <li>2. Abdominales.</li> <li>3. Una pierna o las dos al pecho</li> <li>4. Estiramiento del piramidal.</li> <li>5. Estiramiento de mariposa.</li> </ol>

El *PEP Program* basa su programa de prevención en:

- Realizar un buen calentamiento estandarizado que incluya carreras progresivas con variación del tipo de desplazamiento (desplazamientos básicos).
- Ejercicios de flexibilidad estáticos de los principales grupos musculares que fijan la articulación de la rodilla.
- Trabajo de fuerza a través de ejercicios funcionales, que soliciten el freno en el mecanismo de lesión del LCA (isquiotibial y gemelo/sóleo).
- Propiocepción dinámica o control dinámico de la articulación de la rodilla, a través de ejercicios de pliometría, con variedad en el tipo de salto que impliquen control neuromuscular.
- Acciones de agilidad a alta velocidad, con cambios de dirección y de sentido que exijan a la articulación de la rodilla girar y rotar.
- Vuelta a la calma que incluya trabajo de control postural y flexibilidad estática de los principales grupos musculares solicitados en la sesión de trabajo preventivo.

La propuesta planteada en el *PEP Program* sigue los argumentos, en los que la combinación de diferentes contenidos son los que muestran una mayor evidencia en la reducción de lesiones, en este caso de lesiones de LCA: se plantean aspectos básicos como un calentamiento y una vuelta a la calma protocolizada, que garantizan algunos de los fundamentos básicos de la prevención de lesiones, como son el aumento de la temperatura corporal y muscular de manera previa a la realización de la actividad física o una vuelta a la calma adecuada con trabajo de fuerza compensatoria y flexibilidad para disminuir el tono muscular. Además, incluye contenidos reflejados en los fundamentos del trabajo de fuerza, con refuerzo de la musculatura fijadora de la articulación de la rodilla, y trabajo neuromuscular dinámico. La aplicación de la totalidad de este programa con una orientación grupal requiere de un tiempo importante destinado a la sesión de entrenamiento; también, en los contenidos de trabajo de flexibilidad aplican solamente el método estático pasivo, al igual que en los contenidos de trabajo de fuerza se echa en falta ejercicios con una orientación excéntrica.

En términos de popularidad, otro de los programas preventivos grupales más empleados, en este caso en el fútbol y desarrollado por la FIFA, es el **F-MARC** o **“The 11”** (FIFA, 2005), haciendo referencia al número de ejercicios diseñados en el programa dirigido a la reducción de lesiones del tren inferior en fútbol (ver Figura 12).

<p><b>1.- Apoyo en antebrazo:</b> 1-2 series * 15 segundos * cada pierna</p>	<p><b>1.- Apoyo en antebrazo en posición lateral:</b> 2 series * 15 segundos * cada lado</p>	<p><b>3.- Corva:</b> 5 repeticiones</p>
		
<p><b>4.- Esqui de fondo:</b> 15 repeticiones * cada pierna</p>	<p><b>5.- Apoyo en una pierna con lanzamiento:</b> 1 serie * 10 repet. * cada pierna</p>	<p><b>6.- Apoyo en una pierna y flexión de tronco:</b> 1 serie * 10 repet. * cada pierna</p>
		
<p><b>7.- Apoyo una pierna, “ochos”:</b> 1 serie * 10 repet. * cada pierna</p>	<p><b>8.- Saltos con ambas piernas:</b> 1 serie * 10 repet. * cada lado, hacia delante y hacia atrás</p>	
		
<p><b>9.- Saltos en Zig Zag:</b> 1 serie * 2 repeticiones</p>	<p><b>10.- Saltos largos y altos:</b> 1 serie * 2 repet. * 30 metros</p>	<p><b>11.- Fair play</b></p>
		

**Figura 12.- F-MARC, Football for health: “The 11+”** (FIFA, 2005).

Este programa preventivo, que está diseñado para introducirlo en los calentamientos previos a las sesiones de entrenamiento, incluye los siguientes contenidos:

- Trabajo de control postural y refuerzo lumbo-pélvico, a través de los dos primeros ejercicios (apoyo en antebrazo con apoyo de pie unipodal y apoyo en antebrazo en posición lateral).
- Trabajo excéntrico de isquiotibiales, a través del “*Nordic Hamstring*”.
- Trabajo propioceptivo individual y por parejas en apoyo unipodal, en cuatro tareas centrales del programa.
- Propiocepción dinámica o control dinámico, a través de saltos verticales y laterales en apoyo bipodal, saltos en zig-zag bipodal y saltos en apoyo unipodal horizontal.
- Por último, el “*Fair-Play*” o “Juego Limpio” forma parte del programa preventivo.

Este programa preventivo presenta una aplicación práctica, introducida en los calentamientos, de manera sencilla y a través de poco material: un balón. No introduce, a diferencia del *PEP Program* contenidos de flexibilidad, aunque sí de manera general un trabajo excéntrico de isquiotibiales. La introducción en un equipo de fútbol profesional de este programa probablemente se quede escasa, además de que las evidencias científicas del mismo en determinadas muestras no se han mostrado efectivas (Steffen, Myklebust, Andersen, Holme, & Bahr, 2008; Steffen, Myklebust, Olsen, Holme, & Bahr, 2008) aunque en equipos de formación o amateur sea una aplicación interesante por el escaso tiempo que conlleva realizarla y por necesitar poca cantidad de material para desarrollarlo.

Por último, mencionar uno de los últimos programas en aparecer, desarrollado y promocionado por la *Major League Soccer* y *Santa Monica Orthopaedic Group* en EEUU, el *MLS Groin Injury Prevention Protocol* dirigido a la prevención de lesiones de pubis (Group, 2008a).

#### **1.5.4.2. Programas preventivos específicos**

Los programas preventivos específicos son aquellos programas orientados a aspectos preventivos particulares teniendo en cuenta las características propias de cada individuo, el historial de lesión, las valoraciones previas e informes sobre la vida deportiva del deportista. Se desarrollarán de manera individual. Aunque su desarrollo permita un mayor grado de control por parte de los técnicos del club, se hace necesaria una implicación importante del jugador para que la sesión propuesta tenga la calidad necesaria y provoque los efectos deseados (Solla & Martínez, 2009).

Los contenidos de trabajo, al ser individuales y ajustados al perfil de lesión de cada deportista, se pueden basar, además de las medidas preventivas mencionadas en el punto 1.6.3., en uno o varios de los siguientes aspectos que hemos extraído de la bibliografía consultada (Casáis, 2009; Ekstrand et al., 1983; Junge & Dvorak, 2004; Parkkari et al., 2001):

- Evitar ejercicios contradictorios de las zonas corporales con mayor riesgo de lesión.
- Prestar atención a las zonas corporales teóricamente “sanas”, es decir, con menor riesgo de lesión porque pueden sufrir sobrecargas y fatigas inesperadas por descompensaciones.
- Centrar nuestra intervención en el trabajo de fuerza, mejora de la amplitud articular, reforzamiento lumbo-pélvico y propiocepción.



## **2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**



## 2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

A continuación, pasamos a definir la hipótesis y los objetivos de nuestro trabajo:

### 2.1. HIPÓTESIS

La **hipótesis** que se fórmula en este estudio es la siguiente:

La aplicación de un protocolo de prevención de lesiones post-ejercicio basado en la información adquirida a través de valoraciones con TI reduce la incidencia de lesión en los jugadores profesionales de fútbol.

### 2.2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

A continuación se recogen los objetivos principales o generales del estudio, seguidos de los objetivos secundarios o específicos que se desprenden de cada objetivo principal. Hay que tener en cuenta que todos los objetivos expuestos a continuación hacen referencia a los futbolistas del equipo profesional que ha participado en el estudio durante la pretemporada 2008 y 2009, aunque no se indique este aspecto en la definición de los objetivos para evitar la repetición.

Los **objetivos principales y secundarios** son los siguientes:

1. Realizar un análisis descriptivo de las lesiones padecidas en la pretemporada 2008.
  - a) Determinar el tiempo de exposición del jugador en competición y entrenamiento durante una pretemporada.
  - b) Conocer la frecuencia de lesión del equipo de fútbol profesional durante la pretemporada 2008.

- c) Analizar la incidencia de lesión total, en entrenamiento y en competición, los principales mecanismos de producción de lesión, la localización, tipología y la lateralidad de lesión en función de la pierna dominante del jugador y, por último, la severidad de las mismas registradas en función de los días de baja que éstas ocasionan en la pretemporada 2008 del equipo profesional de fútbol.
2. Obtener las características térmicas del miembro inferior de los jugadores de fútbol profesional.
    - a) Elaborar un perfil térmico según lateralidad y dominancia del miembro inferior de los jugadores profesionales de fútbol.
    - b) Valorar la influencia que tiene las condiciones ambientales (temperatura, humedad y presión atmosférica) de la sala de evaluación termográfica sobre la temperatura registrada a los jugadores por la cámara termográfica.
    - c) Proponer una ecuación correctora para minimizar el efecto que la temperatura de la sala ejerce sobre la temperatura registrada por la cámara termográfica.
3. Analizar los efectos del protocolo de prevención de lesiones post-ejercicio, basado en la información adquirida de valoraciones con TI, en la incidencia de lesión de un equipo profesional de fútbol durante la pretemporada 2009.
    - a) Comparar las características socio-demográficas y el tiempo de exposición, a competición y entrenamiento, de las muestras de estudio durante ambas pretemporadas.
    - b) Comprobar si se consiguió una reducción del número de lesiones en la pretemporada donde se utilizó la TI dentro del protocolo de prevención de lesiones post-ejercicio.
    - c) Verificar si existen diferencias significativas en la incidencia de lesión total, en entrenamiento y en competición, días de baja, probabilidad, tipología, localización, severidad, lateralidad y mecanismo de producción de las lesiones, durante la pretemporada 2008 y 2009 por la

inclusión de valoraciones termográficas como feedback para aplicar el protocolo de prevención de lesiones post-ejercicio.



### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**



### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **3.1. DISEÑO DEL ESTUDIO**

Siguiendo a Doménech Massons (1999) realizaremos la clasificación del tipo de estudio que hemos llevado a cabo y la estrategia de recogida de datos:

En primer lugar, aclarar que el objetivo de nuestro estudio es analizar si la aplicación de un protocolo de prevención de lesiones, en función de la información adquirida a través de evaluaciones termográficas, reduce la probabilidad y gravedad de las lesiones deportivas.

En segundo lugar, informar que los datos que conforman el presente trabajo se encuadran dentro de una investigación cuasi-experimental, siguiendo el diseño de un estudio pre-post sin grupo de control. Un estudio longitudinal donde, después de un registro inicial de lesiones en la pretemporada 2008, los sujetos fueron expuestos a la variable independiente, utilización de la TI en el protocolo de prevención de lesiones durante la pretemporada 2009, analizando finalmente la modificación con respecto a la primera medida. Los integrantes del equipo en la pretemporada 2008 actúan como grupo control de los integrantes del equipo en la pretemporada 2009. La direccionalidad fue desde el momento de la exposición hasta el momento en el que se observó la respuesta, por lo que el estudio lo clasificamos como forward. Por último, el momento de ocurrencia (*timing*) fue prospectiva, donde la exposición y respuesta se produce después de comenzar el estudio.

#### **3.2. VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES**

##### **3.2.1. VARIABLES DEPENDIENTES**

Las variables dependientes del presente estudio fueron las que aparecen en la siguiente tabla:

**Tabla 7.-** Variables dependientes y sus valores.

<b>Variables Dependientes</b>	<b>Tipo</b>	<b>Valores</b>
<i>Hs. Exposición</i>	Escalar	Nº de horas
<i>Frecuencia de lesión</i>	Escalar	Nº de lesiones
<i>Incidencia de lesión</i>	Escalar	Nº lesiones / 1000 horas de exposición
<i>Severidad de lesión</i>	Ordinal	Menor, Leve, Moderada, Grave
<i>Tipología de las lesiones</i>	Nominal	OSEA (Fractura, Fisura, Otra lesión ósea), ARTICULARES (Subluxación/Dislocación, Ligamentosa, Meniscal, Cartílago-Articular), MUSCULAR (Rotura Muscular, Contractura Muscular, Sobrecarga Muscular), TENDINOSA (Tendinitis, Bursitis), CONTUSIONES (Inflamación/Edema, Contusión), SISTEMA NERVIOSO (Conmoción Cerebral, SNP), HERIDA, Fascitis Plantar, Pubalgia.
<i>Días de baja</i>	Escalar	Nº de días.
<i>Localización de lesión</i>	Nominal	Pie / dedos, Tobillo, Pierna /talón, Rodilla, Muslo posterior, Muslo anterior, Cadera /aductor, Mano / dedo / pulgar, Muñeca, Antebrazo, Codo, Brazo, Hombro / clavícula, Lumbar / sacro / pelvis, Abdomen, Esternón / costillas / dorsal, Cuello / cervical, Cabeza / cara.
<i>Mecanismo de producción</i>	Nominal	Sobrecarga / Traumática
<i>Temperatura Corporal</i>	Escalar	Grados centígrados

### 3.2.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes del presente estudio fueron las que aparecen en la siguiente tabla:

**Tabla 8.-** Variables independientes y sus valores.

<b>Variables Independientes</b>	<b>Tipo</b>	<b>Valores</b>
<i>Pretemporada</i>	Ordinal	2008 / 2009
<i>Temperatura de la Sala</i>	Escalar	Grados centígrados
<i>Humedad de la Sala</i>	Escalar	%
<i>Presión Atmosférica de la Sala</i>	Escalar	Milibares (mb)
<i>Dominancia</i>	Nominal	Dominante, No dominante, No aplicable
<i>Lateralidad</i>	Nominal	Diestra o Derecha, Zurda o Izquierda,

### 3.3. MUESTRA DEL ESTUDIO

En el presente estudio participaron 33 sujetos pertenecientes a la primera plantilla de un equipo profesional de fútbol español en las pretemporadas 2008 y 2009. En la primera pretemporada el equipo estaba compuesto por 24 jugadores, de los cuales 15 repitieron en la segunda pretemporada y 9 abandonaron el equipo, por lo que se incorporaron al estudio 9 jugadores nuevos, manteniendo de esta forma una muestra de 24 jugadores en la segunda pretemporada (ver datos descriptivos en la tabla 9). Todos ellos tenían ficha con el primer equipo del club.

**Tabla 9.-** Datos descriptivos (media  $\pm$  desviación estándar (D.E.) de la muestra de estudio.

	<b>Pretemporada 2008</b>	<b>Pretemporada 2009</b>
<b>Datos de la muestra</b>	<b>Media <math>\pm</math> D.E.</b>	<b>Media <math>\pm</math> D.E.</b>
<i>Edad (años)</i>	27,4 $\pm$ 4,0	27,3 $\pm$ 3,9
<i>Peso (kg)</i>	76,3 $\pm$ 4,2	75,8 $\pm$ 4,1
<i>Talla (cm)</i>	182,0 $\pm$ 4,1	181,6 $\pm$ 4,6
<i>Sujetos (n)</i>	24	24

Tanto los jugadores, los miembros del equipo técnico y médico, como los responsables del club fueron informados previamente, de manera oral y por escrito, de las características y los objetivos de la investigación.

Tras dicho proceso, los jugadores dieron su consentimiento para participar en dicho estudio y el club facilitó la incorporación al equipo de trabajo durante toda la pretemporada a un técnico en termografía debidamente formado y acreditado: Pedro M<sup>a</sup> Gómez Carmona.

El desarrollo de este estudio ha seguido las directrices y principios éticos de la Declaración de Helsinki para la investigación con seres humanos (Williams, 2008; World-Medical-Association, 2004) y ha sido aprobado por el Comité Ético de la Universidad Politécnica de Madrid (Anexo II).

### 3.4. MATERIAL

#### 3.4.1. MATERIAL DE EVALUACIÓN TERMOGRÁFICA

Para la realización de las evaluaciones termográficas se utilizó:

Una pantalla tipo “roll-up” modelo “Ribadeo” de 125 x 206 cm, con un peso de 2,95 kg, base de aluminio y lona de color negro. Para crear un fondo homogéneo y sin reflejos tras las figuras corporales y así evitar cualquier elemento que distorsione la toma de temperatura.

Un step modelo Domyos 160 (Decathlon, España), para buscar una ligera elevación del sujeto evaluado y así evitar posibles factores, a la altura del suelo, que puedan afectar en la toma de temperatura, como por ejemplo, soporte de aluminio del roll up, baldosas de cerámica, etc. Además, está marcado con las zonas donde el sujeto debe apoyar los pies para una correcta realización de la fotografía.

Un trípode modelo Omega Premium II (Hama®, Monheim, Germany).

La Cámara termográfica modelo ThermaCAM TM SC660 (FLIR SYSTEMS, Danderyd, Sweden), ver figura 13.



**Figura 13.-** Cámara termográfica modelo ThermaCAM TM SC660 (FLIR SYSTEMS, Danderyd, Sweden).

En la siguiente tabla, tabla 10, se detallan las características más generales del modelo de cámara termográfica utilizada en el estudio:

**Tabla 10.-** Características generales de la cámara ThermaCAM TM SC660 (FLIR SYSTEMS, Danderyd, Sweden).

<b>Características Cámara termográfica FLIR modelo ThermaCAM TM SC660</b>	
<b>Imagen térmica</b>	
<i>Resolución IR</i>	640 x 480 píxeles
<i>Rango espectral</i>	7,5 - 13 $\mu\text{m}$
<i>Frecuencia de imagen</i>	30 Hz
<i>Enfoque</i>	Automático o manual
<i>Matriz de plano focal (FPA)</i>	Microbolómetro sin refrigerar
<b>Medición</b>	
<i>Intervalo de temperaturas</i>	FLIR SC660: De $-40^{\circ}\text{C}$ a $+1500^{\circ}\text{C}$
<i>Precisión</i>	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ o $\pm 1\%$ de lectura (intervalo restringido) $\pm 2^{\circ}\text{C}$ o $\pm 2\%$ de lectura
<b>Análisis de medición</b>	
<i>Isoterma</i>	2, superior, inferior, intervalo
<i>Diferencia de temperatura</i>	Variación de temperatura entre funciones de medición o con respecto a la temperatura de referencia
<i>Detección automática de caliente/frío</i>	Valor de temp. máx./mín. y posición se muestra dentro de un recuadro, un círculo o sobre una línea.
<i>Temperatura de referencia</i>	Establecida manualmente o tomada de alguna función de medición
<i>Corrección de emisividad</i>	Variable de 0,01 a 1,0 o a seleccionar de una lista de materiales
<i>Correcciones de mediciones</i>	Temperatura reflejada, transmisión óptica, transmisión atmosférica y óptica externa
<i>Corrección externa de ópticas/ventanas</i>	Automática, basada en los datos recibidos de transmisión y temperatura de la óptica/ventana IR

### **3.4.2. MATERIAL PARA EL REGISTRO DE VARIABLES ATMOSFÉRICAS**

Para el registro de los datos atmosféricos se utilizó una estación meteorológica, modelo BAR988HG (Oregon Scientific, Portland, Oregon), consistente en un higrómetro, barómetro y termómetro, para medir la humedad, la presión y la temperatura, respectivamente.

A continuación mostramos en la tabla 11 las características más generales del modelo de estación meteorológica que se utilizó en el estudio:

**Tabla 11.-** Características generales de la estación meteorológica, modelo BAR988HG (Oregon Scientific, Portland, Oregon).

<b>Características estación meteorológica, Oregon modelo BAR988HG</b>	
<i>Peso</i>	376 gramos.
<i>Dimensiones</i>	Unidad Interior: 188 x 120 x 86 mm. (alto x frente x fondo)
<i>Temperatura</i>	Interior (-5 / +50°C) con °C.
<i>Humedad</i>	Interior y exterior (25 - 95%).
<i>Presión Atmosférica</i>	Valor numérico; 500 - 1050 mb. Resolución: 1 mb
<i>Indicadores</i>	Tendencias y zonas de confort
<i>Otros</i>	- Gráfico de barras de la evolución de la presión en las últimas 24 horas. - Pronóstico del tiempo mediante símbolos

### 3.4.3. MATERIAL INFORMÁTICO

*Hardware:* ordenador portátil fue utilizado durante el estudio. Con él se analizaron las termografías, se generaron los informes y se realizó el procesamiento de los datos.

*Software:* se utilizaron los siguientes programas:

- Programa para el tratamiento estadístico de los datos: SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) v15.0 para Windows®.
- Microsoft Excel XP® para el procesamiento, preparación de los datos y generación de los informes.
- Programa para el análisis cuantitativo de las fotografías termográficas: “ThermaCAM Reporter” para Windows® y proporcionado por los fabricantes de la cámara.

### 3.5. PERSONAL INVESTIGADOR

Todas las pruebas realizadas fueron llevadas a cabo por el técnico especialista en termografía, el cuerpo técnico y el cuerpo médico del club, formado por un médico especialista en traumatología deportiva, que estuvo presente y supervisó todas las pruebas, además de especialistas (fisioterapeutas y licenciados en ciencias de la

actividad física y el deporte) en la realización de este tipo de pruebas y su posterior análisis o tratamiento.

### **3.6. METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

Se registraron las lesiones de una plantilla profesional de fútbol durante la pretemporada 2008 (14-julio al 30-agosto = 48 días) y la pretemporada 2009 (20-julio al 28-agosto = 40 días) siguiendo los criterios determinados por el Comité Médico de la UEFA a través del cuestionario F-MARC (Fuller et al., 2006).

En el caso concreto de la valoración de la severidad, se utilizaron los criterios de la UEFA para la realización de estudios epidemiológicos de lesiones mediante la práctica del fútbol profesional, tanto en entrenamiento como en competición. Dicha clasificación establece cuatro niveles de severidad en función del tiempo que el jugador está ausente del entrenamiento completo, cumpliendo los objetivos propuestos en cada una de las tareas, al igual que el resto de los jugadores del equipo:

- Lesiones leves: el jugador está ausente entre 1-3 días.
- Lesiones menores: el jugador está ausente entre 4-7 días.
- Lesiones moderadas: el jugador está ausente entre 8-28 días.
- Lesiones graves: el jugador está ausente más de 28 días.

Durante la pretemporada 2009, además del registro de lesiones, se realizó valoraciones termográficas para cuantificar la asimilación de la carga de ejercicio físico por parte de los jugadores. La información adquirida de dichas evaluaciones se utilizó para decidir si era necesario aplicar el protocolo específico de prevención de lesiones que utilizó el cuerpo técnico-médico en ambas pretemporadas. Para dicho fin se contó con la participación de todos los miembros del cuerpo técnico (entrenadores, preparadores físicos, fisioterapeutas y médicos) del equipo. Para ello, se realizaron tomas termográficas de todos los miembros de la plantilla al comienzo de cada una de las sesiones matinales de entrenamiento, y se emitieron informes (Anexo III) que eran entregados diariamente al cuerpo técnico y médico del club, aunque de todos ellos

existía una persona responsable de recibir la información, comunicárselo al resto del grupo y responsabilizarse de la intervención.

Tras el análisis de los informes termográficos, en el caso de la aparición de algún desequilibrio térmico, es decir, una asimetría en las temperaturas máximas registradas de 0,3 °C (Gómez et al., 2008a; Sillero, Gómez, Noya, Núñez, & Fernández, 2009) en alguna zona corporal de uno de los jugadores de manera repetida (dos o más días seguidos), se ponía en marcha un protocolo específico de prevención de lesiones. Dicho protocolo fue utilizado también durante la pretemporada 2008 cuando un jugador comunicaba sentir dolor, molestias o cansancio en alguna zona corporal.

El protocolo específico de prevención de lesiones se basaba en feedback ó información al propio deportista, tratamiento fisioterapéutico (movilizaciones, estiramientos pasivos y masaje) y agua fría o hielo (10°-12° durante 10') en las zonas con desequilibrio térmico y, en casos extremos (desequilibrios de 0,5 °C), modificaciones pequeñas y puntuales de la programación de entrenamiento.

Si la lesión se producía, se continuaba haciendo la evaluación termográfica diaria al jugador y se tenía ésta en cuenta para determinar el momento en el que el jugador podía incorporarse al entrenamiento normal con el resto del equipo (Giani et al., 1989).

### **3.6.1. METODOLOGÍA DE ENTRENAMIENTO**

Al ser el mismo cuerpo técnico y los mismos servicios médicos, tanto la metodología de entrenamiento (volumen e intensidad) como las valoraciones y criterios médicos siguieron la misma metodología en ambas pretemporadas.

Los lugares de trabajo coincidieron la mayoría en España, exceptuando los días, un total de 5 días, de concentración en el extranjero en la pretemporada 2009 (Tabla 12). En cualquier caso, las condiciones del terreno de juego fueron óptimas para la práctica del fútbol en todo momento, trabajando siempre en campos de césped natural cortado a la misma longitud (2 cm), la cual era elegida por el cuerpo técnico.

**Tabla 12.-** Lugares de concentración del equipo en la pretemporada 2008 y 2009.

<b>Ciudades</b>	<b>Pretemporada 2008</b>	<b>Pretemporada 2009</b>
<i>Navaleno (Soria)</i>	16 – 25 Julio	22 – 31 Julio
<i>Villalba (Lugo)</i>	4 – 10 Agosto	
<i>El Rompido (Huelva)</i>		3 – 9 Agosto
<i>Stuttgart (Alemania)</i>		10 – 15 Agosto
<i>Zaragoza (Aragón)</i>	11 – 30 Agosto	16 – 28 Agosto

En la pretemporada 2008 se realizaron 53 entrenamientos y 8 partidos amistosos, mientras que en la pretemporada 2009 fueron 44 sesiones de entrenamiento y 9 partidos amistosos. En la tabla 13 podemos ver las horas y minutos de sesiones de entrenamiento y partidos de competición durante las dos pretemporadas.

**Tabla 13.-** Sesiones, horas y minutos de entrenamientos y partidos amistosos en la pretemporada 2008 y 2009.

<b>Entrenamientos y Partidojs</b>	<b>Pretemporada 2008</b>	<b>Pretemporada 2009</b>
<i>Sesiones de entrenamiento</i>	53	44
<i>Horas de entrenamiento</i>	77	64
<i>Minutos de entrenamiento</i>	4611	3828
<i>Partidos amistosos</i>	8	9
<i>Horas de competición</i>	12	13,5
<i>Minutos de competición</i>	720	810

### 3.6.2. METODOLOGÍA PARA EL REGISTRO DE LESIONES

El cuestionario que se utilizó para este apartado del estudio surge de un proyecto realizado por la FIFA, tras la necesidad de crear una metodología específica para el registro de lesiones. El cuestionario denominado F-MARC, y explicado con detalle anteriormente en el apartado “1.4.2.2.2. *F-Marc*” del marco teórico, estaba constituido por cuatro documentos. Recordamos brevemente la información que recoge cada uno de ellos:

- En el primer documento, se recogían los datos socio-demográficos de los jugadores.

- El segundo documento se centraba en la información relacionada con la lesión en sí.
- El tercer documento registraba la exposición en minutos de cada uno de los jugadores de manera individual, diferenciando el entrenamiento de la competición.
- El cuarto documento registraba la exposición de todo el conjunto del equipo, tanto en entrenamiento como en competición.

### **3.6.3. METODOLOGÍA PARA EL REGISTRO DE LA EXPOSICIÓN**

El registro de la exposición se realizó tanto en entrenamiento como en competición. Para ello, al finalizar la pretemporada, se solicitó al equipo el número de partidos de competición amistosos en los que había participado, así como el número de entrenamientos que tuvo a lo largo de toda la pretemporada 2008 y 2009.

Esta información fue utilizada para el posterior cálculo de la incidencia de lesión de forma individualizada por el equipo en función de la exposición total, tanto en entrenamiento como en competición.

#### **3.6.3.1. Registro de la exposición a competición**

Dentro de la exposición a competición debemos diferenciar a su vez dos tipos de competición:

- Competiciones oficiales.
- Competiciones no oficiales o de carácter amistoso.

En el periodo que se realizó el estudio solo se jugaron competiciones no oficiales. Para el cálculo de la exposición, en primer lugar se solicitó al club el número de partidos en los que había participado. Teniendo dicho dato se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Exposición Competición} = N^{\circ} \text{ de partidos} \times 11 \times 90 / 60 \quad [15]$$

En ésta se multiplica el número de partidos de exposición a competición, por el número de jugadores (11 en nuestro caso) y por la duración del partido de competición (90 minutos). Todo ello se divide por 60, para obtener el resultado en número de horas en las que un jugador del equipo está en exposición o situación de poder padecer una lesión en competición.

### 3.6.3.2. Registro de la exposición a entrenamiento

Para el registro de la exposición a entrenamiento, se solicitó al club el número de entrenamientos colectivos que el equipo había realizado a lo largo de la pretemporada.

Posteriormente, a esos datos se aplicó la fórmula 19 para conocer el número de horas totales de exposición o de riesgo de sufrir una lesión en entrenamiento.

$$\text{Exp. Entrenamientos} = N^{\circ} \text{ de sesiones} \times \text{Media de jugadores} \times 87 / 60 \quad [16]$$

La elaboración de esta fórmula se realizó a través de los datos aportados por el equipo participante en el estudio, el cual registró el número de jugadores participantes en cada uno de los entrenamientos a lo largo de ambas pretemporadas obteniendo una media en 2008 de  $21 \pm 1,09$  jugadores y en 2009 de  $23,68 \pm 0,47$ . Lo cual nos llevó a la decisión de utilizar 21 como el número de jugadores participantes promedio en una sesión de entrenamiento durante la pretemporada 2008 y 23,7 durante la pretemporada 2009. Además, este equipo registró la duración de cada uno de los entrenamientos, teniendo como resultado una duración media de  $87,48 \pm 12,33$  en 2008 y  $87,21 \pm 13,26$  minutos en 2009. Viendo estos resultados, se decidió tomar la duración de 87 minutos como la media de una sesión de entrenamiento del equipo en ambas pretemporadas.

Además, se consideró el número de minutos que el jugador estaba expuesto al calentamiento de precompetición, y se le dió a este apartado una duración de 25 minutos, multiplicado por el número de partidos de competición.

Todo ello, se dividió por 60 para obtener el resultado en horas.

#### **3.6.4. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN TERMOGRÁFICA**

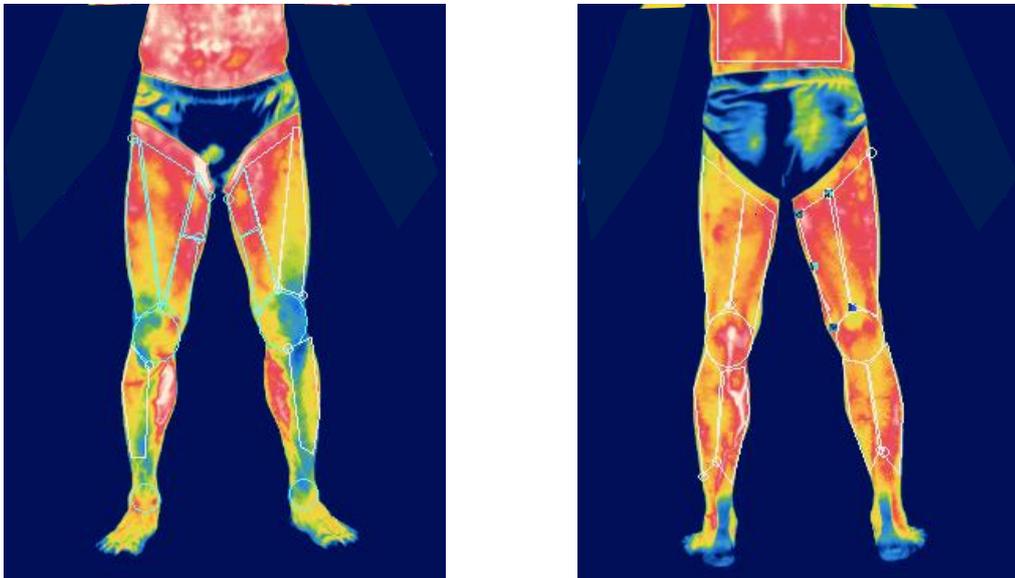
El protocolo de evaluación termográfica, Anexo IV, siguió las recomendaciones del International Academy of Clinical Thermology-IACT (2002) y del trabajo de Ring & Ammer (2000) para la correcta toma de imágenes termográficas.

Las evaluaciones termográficas se realizaron todos los días en los que hubo entrenamiento durante la pretemporada 2009, a las 9:00 de la mañana para evitar la influencia de los ritmos circadianos sobre la fluctuación de la temperatura global del cuerpo (Reinberg, 1975), y antes del comienzo de la sesión de trabajo para evitar la variación de temperatura corporal por la realización de actividad física (Ammer, 1995; Konermann & Koob, 1975; Reinberg, 1975; Smith et al., 1986) no habiéndose realizado ningún tipo de actividad física vigorosa al menos 6 horas antes de la medición (IACT, 2002; Williams, 2008).

Se utilizó una cámara termográfica modelo ThermaCAM TM SC660 (FLIR SYSTEMS, Danderyd, Sweden). Las diferentes salas utilizadas para la evaluación no estuvieron en todos los casos climatizadas a la misma temperatura dado las dificultades presentadas por el constante cambio de lugar de concentración del equipo. Aún así, la temperatura media de todas las evaluaciones fue de  $23,1 \pm 3,4$  °C, intentando siempre acercarse a los valores ideales marcados entre los 18 a los 25°C (Garagiola & Giani, 1990; IACT, 2002; Ring & Ammer, 2000), para evitar la influencia de la temperatura ambiente sobre la temperatura cutánea (Devereaux et al., 1986; IACT, 2002; Williams, 2008). Mediante una estación meteorológica modelo BAR988HG (Oregon Scientific, Portland, Oregon), además de registrar la temperatura ambiente, se registró la presión atmosférica y la humedad relativa, factores que pueden influir en temperatura de la piel (Reinikainen & Jaakkola, 2003) y que también se mantuvieron, en la medida de lo posible, constantes durante todas las tomas con valores medios de  $968 \pm 44,1$  hPa y  $39,8 \pm 7,8$  (Reinikainen & Jaakkola, 2003; Zontak, Sideman, Verbitsky, & Beyar, 1998).

Los jugadores siguieron siempre la misma rutina, con un tiempo aproximado de 10 minutos de aclimatación (Devereaux et al., 1986; Devereaux et al., 1984; IACT, 2002; Williams, 2008), posando en la misma posición, vestidos únicamente con un calzoncillo, y después de haber respondido a un cuestionario (Anexo V) en el que se comprobaba si el jugador había utilizado algún factor que pudiese influir en la evaluación de imágenes termográficas.

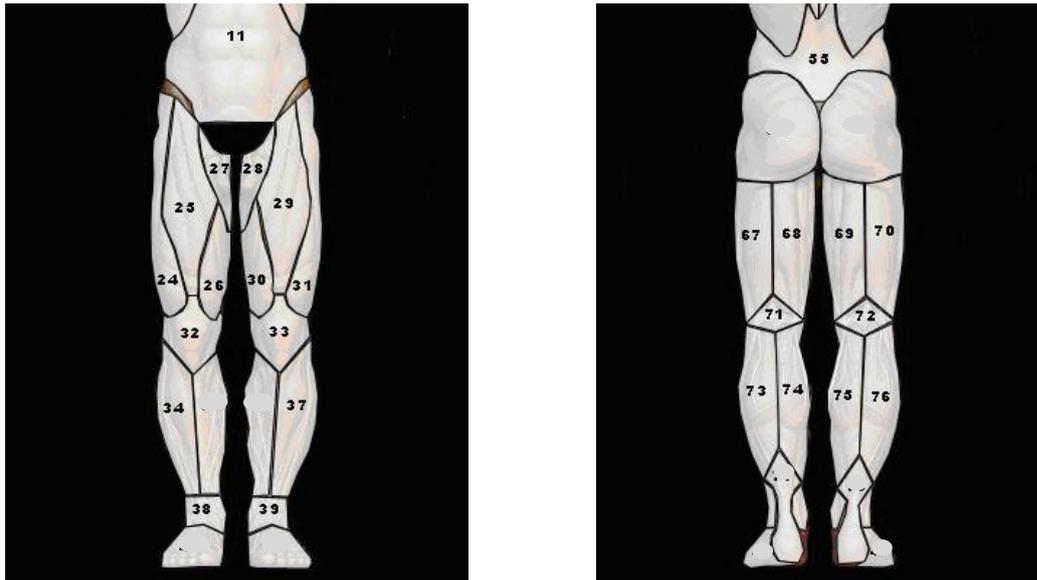
Se realizaron dos fotografías termográficas a cada uno de los jugadores: una de la cara anterior de los miembros inferiores y región abdominal, y la otra de la cara posterior y región lumbar, ver Figura 14.



**Figura 14.-** Ejemplos de imágenes termográficas de la cara anterior y posterior.

Posteriormente, se trataron las dos fotografías con el software “ThermaCAM Reporter” proporcionado por los fabricantes de la cámara, y se registraron las temperaturas de cada una de las zonas corporales que se muestran en la Figura 15.

A continuación, en las Tablas 14 y 15 se detallan las zonas corporales utilizadas en el estudio y las abreviaturas correspondientes. Mencionar que la última consonante (“D” o “I”) hace referencia a la lateralidad de la zona, cuando nos referimos a la dominancia se sustituye la “D” por “DO” (dominante) y la “I” por la “ND” (no dominante).



**Figura 15.-** Imágenes con las zonas corporales utilizadas y analizadas en el estudio.

**Tabla 14.-** Áreas Corporales de la Cara Anterior del Miembro Inferior del cuerpo humano que se utilizaron en el estudio, sus abreviaturas y el número del área correspondiente a la figura 15.

<b>Áreas Corporales del M. Inferior Anterior</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Vista</b>	<b>Nº Dibujo</b>
<i>Abdomen</i>	Abd	Anterior	11
<i>Miembro Inferior Anterior Izquierdo</i>	InfAI	Anterior	
<i>Muslo Anterior Izquierdo</i>	MusAI	Anterior	
<i>Muslo Anterior Externo Izquierdo</i>	MusAeI	Anterior	31
<i>Muslo Anterior Interno Izquierdo</i>	MusAiI	Anterior	30
<i>Muslo Anterior Central Izquierdo</i>	MusAcI	Anterior	29
<i>Aductor Izquierdo</i>	AduI	Anterior	28
<i>Rodilla Izquierda</i>	RodI	Anterior	33
<i>Pierna Anterior Externa Izquierda</i>	PieAeI	Anterior	37
<i>Tobillo Izquierdo</i>	TobI	Anterior	39
<i>Miembro Inferior Anterior Derecho</i>	InfAD	Anterior	
<i>Muslo Anterior Derecho</i>	MusAD	Anterior	
<i>Muslo Anterior Externo Derecho</i>	MusAeD	Anterior	24
<i>Muslo Anterior Interno Derecho</i>	MusAiD	Anterior	26
<i>Muslo Anterior Central Derecho</i>	MusAcD	Anterior	25
<i>Aductor Derecho</i>	AduD	Anterior	27
<i>Rodilla Derecha</i>	RodD	Anterior	32
<i>Pierna Anterior Externa Derecha</i>	PieAeD	Anterior	34
<i>Tobillo Derecho</i>	TobD	Anterior	38

**Tabla 15.-** Áreas Corporales de la Cara Posterior del Miembro Inferior del cuerpo humano que se utilizaron en el estudio, sus abreviaturas y el número del área correspondiente a la figura 15.

<b>Áreas Corporales del M. Inferior Posterior</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Vista</b>	<b>Nº Dibujo</b>
<i>Lumbar</i>	Lum	Posterior	55
<i>Miembro Inferior Posterior Izquierdo</i>	InfPI	Posterior	
<i>Muslo Posterior Izquierdo</i>	MusPI	Posterior	
<i>Muslo Posterior Interno Izquierdo</i>	MusPiI	Posterior	68
<i>Muslo Posterior Externo Izquierdo</i>	MusPeI	Posterior	67
<i>Poplíteo Izquierdo</i>	PopI	Posterior	71
<i>Pierna Posterior Izquierdo</i>	PiePI	Posterior	
<i>Pierna Posterior Interno Izquierdo</i>	PiePiI	Posterior	74
<i>Pierna Posterior Externo Izquierdo</i>	PiePeI	Posterior	73
<i>Miembro Inferior Posterior Derecho</i>	InfPD	Posterior	
<i>Muslo Posterior Derecho</i>	MusPD	Posterior	
<i>Muslo Posterior Interno Derecho</i>	MusPiD	Posterior	69
<i>Muslo Posterior Externo Derecho</i>	MusPeD	Posterior	70
<i>Poplíteo Derecho</i>	PopD	Posterior	72
<i>Pierna Posterior Derecha</i>	PiePD	Posterior	
<i>Pierna Posterior Interno Derecha</i>	PiePiD	Posterior	75
<i>Pierna Posterior Externo Derecha</i>	PiePeD	Posterior	76

### 3.6.5. METODOLOGÍA PARA EL REGISTRO DE FACTORES INCIDENTES EN LA EVALUACIÓN TERMOGRÁFICA

Durante el periodo de aclimatización del sujeto, un tiempo aproximado de 10 minutos antes de realizar la evaluación termográfica, se llevaba a cabo un cuestionario (Anexo V) en el que se preguntaba al jugador si había utilizado algún factor que pudiese influir en la evaluación de imágenes termográficas.

En dicho cuestionario se les preguntaba sobre el consumo de tabaco (Gershon-Cohen et al., 1969; Gershon-Cohen & Haberman, 1968; Usuki et al., 1998), la ingesta de alcohol (Mannara et al., 1993), la toma de medicamentos que pudiesen afectar a la temperatura cutánea (Ammer, 1995; Lecerof et al., 1990; Ring et al., 1981; Tham et al., 1990), la aplicación de algún tipo de crema, gel o cosmético en las zonas examinadas

(Hejazi, Wobschall, Spangler, & Anbar, 1992), o la realización de algún tratamiento terapéutico como electroterapia, ultrasonido, termoterapia, crioterapia o un simple masaje (Ammer, 1996; Danz & Callies, 1979; P. Goodman et al., 1991; Kainz, 1993). En todas las evaluaciones las respuestas a estos items fueron negativas porque antes de comenzar el estudio fueron algunas de las condiciones que establecimos para realizar las valoraciones termográficas. Aún así, realizamos las preguntas a los deportistas para descartar alguna excepción.

### **3.6.6. METODOLOGÍA PARA EL PROTOCOLO DE PREVENCIÓN DE LESIONES**

Durante las dos pretemporadas se utilizó un protocolo específico de prevención de lesiones. En la pretemporada 2008, dicho protocolo se aplicó solo en aquellos jugadores que comunicaban sentir dolor, molestias o cansancio en alguna zona corporal. En la pretemporada 2009, además, se aplicó el mismo protocolo en aquellos jugadores en los que las valoraciones termográficas mostraban desequilibrios térmicos bilaterales igual o mayor a 0,3 °C de manera continuada, es decir, cuando el desequilibrio térmico se repetía dos o más días seguidos en la misma zona corporal.

En el caso de la pretemporada 2008, dicho protocolo continuaba o no cesaba hasta dos días después que el jugador comunicase la ausencia de dolor, molestias o cansancio en la zona corporal; y en la pretemporada 2009, hasta recuperar el balance térmico correcto de forma continuada, es decir, si el balance térmico en las zonas corporales se repetía dos o más días seguidos.

El protocolo específico de prevención de lesiones que se utilizó fue:

- Se informó y se le ofreció feedback al propio jugador de los resultados de las evaluaciones termográficas.
- Tratamiento fisioterapéutico basado en movilidad, estiramientos pasivos y masaje, después de la sesión de entrenamiento, en aquellas zonas donde las valoraciones termográficas nos indicaban desequilibrios térmicos.

- Hielo o agua fría, a una temperatura entre 10° y 12°C durante 10 minutos, en la zona corporal con desequilibrio térmico.
- El cuerpo técnico, en casos particulares (desequilibrios térmicos iguales o mayores de 0,5 °C), realizó modificaciones pequeñas y puntuales de la programación de entrenamiento en función de la zona corporal afectada.

### **3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para el análisis estadístico de los datos se ha utilizado el paquete estadístico SPSS versión 15.0 para Windows<sup>®</sup> (SPSS Worldwide Headquarters, Chicago, IL).

Para el cálculo de la incidencia de lesión y el tiempo de exposición a la práctica deportiva de la muestra de estudio durante la pretemporada 2008 y 2009 se utilizaron las fórmulas que se establecieron en el consenso de la UEFA (Fuller et al., 2006).

Para el análisis descriptivo de las variables de datos sociodemográficos, datos antropométricos, frecuencia de lesión, tipología, localización, severidad, lateralidad y mecanismo de producción de las lesiones hemos realizado diferentes análisis estadísticos como:

- Tablas de contingencia para calcular frecuencias y porcentajes de cada una de las variables en ambas pretemporadas, así como media y desviación estándar para las variables cuantitativas.
- En las variables cualitativas, la prueba de Chi-cuadrado para estudiar el grado de relación existente entre dos variables. Se utilizaron medidas de asociación, como la  $d$  de Somers en variables ordinales, para intentar cuantificar el grado y la dirección de la relación, y la  $V$  de Cramer cuando las variables eran nominales.
- En las variables cuantitativas, la prueba t-Student de muestras independientes para contrastar hipótesis referidas a la diferencia entre dos medias independientes en función de la pretemporada 2008 y 2009, debido a que los jugadores entre temporadas no coincidieron completamente.

Previo al análisis estadístico de cada objetivo, se realizó una exploración de los datos. De esta forma se comprobó la normalidad de las distribuciones mediante una prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov, y las pruebas de asimetría y curtosis.

Para el estudio de la influencia de las condiciones ambientales sobre la temperatura registrada por la cámara termográfica hemos realizado los siguientes análisis estadísticos:

- La prueba t-Student para muestras relacionadas para comparar temperaturas registradas por la cámara termográfica en función de la lateralidad y dominancia.
- ANOVA de un factor, tras dividir en tres grupos los datos térmicos registrados en función de la temperatura de la sala en que fueron tomados, para concluir si las evaluaciones termográficas realizadas en los distintos bloques de temperatura de la sala obtenían una media diferente en la temperatura registrada por la cámara en cada una de las zonas corporales. Se utilizó el test de Levene para observar la homogeneidad de la varianza. Además, para saber las diferencias de medias entre los grupos utilizamos el contraste *post-hoc* denominado HSD de Tukey.
- Se utilizaron las correlaciones bivariadas de Pearson entre los tres parámetros ambientales registrados; temperatura, humedad y presión atmosférica, para cuantificar el grado de relación existente entre dichas variables. Además, de esta forma, podemos acercarnos a representar el grado de ganancia que podemos obtener al predecir una variable atmosférica basándonos en el conocimiento que tenemos de otra u otras variables (Hernández, Fernández, & Baptista, 2007). También se utilizó este procedimiento para cuantificar qué parámetro ambiental influyó más sobre la temperatura registrada por la cámara termográfica en cada una de las zonas corporales, en función de la lateralidad y la dominancia.
- Análisis de regresión lineal simple entre el parámetro atmosférico que más influye, la temperatura de la sala (variable independiente), y las

temperaturas registradas de cada zona corporal (variable dependiente) para estudiar y cuantificar la relación entre las variables, así como para desarrollar una ecuación lineal con fines predictivos (Hernández et al., 2007).

- También se utilizó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), para indicar el grado en el que la recta se ajusta a la nube de puntos, el coeficiente  $B_1$  que es la pendiente de la recta e indica el cambio medio que corresponde a la variable dependiente ( $T^a$  zonas corporales) por cada unidad de cambio de la variable independiente ( $T^a$  sala), el coeficiente  $B_0$  que es el punto en el que la recta corta el eje vertical, es decir, es el origen de la recta.

En todos los procesos estadísticos se fijó el nivel de significación estadística en  $\alpha = 0,05$ .



## **4. RESULTADOS**



## 4. RESULTADOS

### 4.1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Como ya se apuntó en el apartado anterior, el presente estudio se realizó con la primera plantilla de un equipo profesional de fútbol de la Liga Española. Durante las dos pretemporadas que duró el estudio se contó con la participación de un total de 33 sujetos. En la pretemporada 2008 la plantilla estaba conformada por 24 jugadores, de los cuales, 15 de ellos se mantuvieron en la plantilla y, por lo tanto, en el estudio durante la pretemporada 2009. En este último periodo se incorporaron 9 jugadores más.

#### 4.1.1. DESCRIPCIÓN SOCIODEMOGRÁFICA DE LA MUESTRA

##### 4.1.1.1. Procedencia de los jugadores

En la tabla 16 se puede ver que, de todos los jugadores en ambas pretemporadas, el 69,7% pertenecían a la Unión Europea (23 jugadores), y el 57,6% del total de los jugadores tenían nacionalidad española (17 jugadores). Se estudió el continente de procedencia del jugador en cada una de las pretemporadas estudiadas a través de una prueba de chi-cuadrado para ver si hay relación de dependencia entre las proporciones de los diferentes niveles, es decir, si se distribuyen homogéneamente entre los niveles de las variables ó, por lo contrario, son independientes. Además, para hablar de la dirección de la relación se utiliza la *d* de Somers. En los resultados no encontramos relaciones significativas en función de la procedencia de los jugadores en ambas pretemporadas con la prueba chi-cuadrado ( $\chi^2_{(2)}=0,542$ ;  $p=0,763$ ) y *d* de Somers ( $d_{\text{Somers}}=0,081$ ;  $p=0,563$ ). Los datos de procedencia de los jugadores en 2008 son independientes de los datos de procedencia de 2009 y, por lo tanto, con porcentajes muy similares en ambas pretemporadas.

**Tabla 16.-** Tabla de contingencia porcentual de jugadores en función de su continente de procedencia y de las pretemporadas.

<b>Procedencia</b>	<b>Pretemporada 2008</b>	<b>Pretemporada 2009</b>	<b>Total</b>
<i>Europa</i>	75 %	66,7 %	69,7 %
<i>Asia</i>	0 %	0 %	0 %
<i>África</i>	4,2 %	8,3 %	6,1 %
<i>América</i>	20,8 %	25 %	24,2 %
<i>Oceanía</i>	0 %	0 %	0 %

Tras la comparación de proporciones se obtuvo que en la pretemporada 2008 existía una cantidad mayor de jugadores europeos (75% de los jugadores son europeos), en comparación a la pretemporada 2009 (66,7%). Además, el porcentaje de jugadores americanos y africanos fue superior, en la pretemporada 2009 (25% y 8,3% respectivamente), en comparación al 2008 (20,8% y 4,2%), como nos muestra la tabla 16.

#### 4.1.1.2. Raza

A su vez los jugadores fueron categorizados en función de su raza, siendo el 72,7% de los sujetos clasificados como caucasianos (24 jugadores), seguidos de los africanos (15,2%) y mestizos (12,1%). Por otro lado, se realizó un análisis de chi-cuadrado ( $\chi^2_{(2)}=0,454$ ;  $p<0,797$ ) con la *d* de Somers ( $d_{\text{Somers}}=0,094$ ;  $p=0,498$ ) para estudiar la raza del jugador en cada una de las pretemporadas, no existiendo relación entre los niveles de las variables de raza y temporada (ver tabla 17).

**Tabla 17.-** Tabla de contingencia porcentual de jugadores en función de su raza y pretemporada.

<b>Raza</b>	<b>Pretemporada 2008</b>	<b>Pretemporada 2009</b>	<b>Total</b>
<i>Caucasiana</i>	79,2 %	70,8 %	72,7 %
<i>Africana</i>	12,5 %	16,7 %	15,2 %
<i>Asiática</i>	0 %	0 %	0 %
<i>Mestiza</i>	8,3 %	12,5 %	12,1 %
<i>Escandinava</i>	0 %	0 %	0 %

Al realizar la prueba de comparación de proporciones, encontramos que existe una proporción mayor, pero no significativa, de jugadores caucasianos en la pretemporada 2008 (79,2% de los jugadores) en relación a la pretemporada 2009 (70,8%), mientras que se encontró una proporción mayor de africanos y mestizos en la pretemporada 2009 con respecto a 2008, siendo también en este caso no significativas, como la tabla 17 nos muestra.

#### 4.1.2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA EN FUNCIÓN DE LA DEMARCACIÓN

Si atendemos a la demarcación que ocupa el jugador en el campo, no se encontraron relaciones significativas a través de una prueba de chi-cuadrado ( $\chi^2_{(5)}=0,234$ ;  $p<0,999$ ) y *d* de Somers ( $d_{\text{Somers}}=0,025$ ;  $p=0,840$ ) entre la pretemporada 2008 y 2009. En la tabla 18 podemos ver los resultados obtenidos de la comparación de proporciones:

**Tabla 18.-** Tabla de contingencia porcentual de jugadores en función de la demarcación y las pretemporadas.

<b>Demarcación</b>	<b>Pretemporada 2008</b>	<b>Pretemporada 2009</b>	<b>Total</b>
<i>Portero</i>	8,3 %	8,3 %	9,1 %
<i>Defensa lateral</i>	16,7 %	12,5 %	15,2 %
<i>Defensa central</i>	20,8 %	20,8 %	21,2 %
<i>Mediocentro</i>	20,8 %	25,0 %	21,2 %
<i>Interior</i>	16,7 %	16,7%	18,2 %
<i>Delantero</i>	16,7 %	16,7 %	15,2 %

Teniendo en cuenta estos datos, observamos que la plantilla de fútbol participante en el estudio contó con una distribución homogénea de jugadores en cada demarcación. Solo destacar que en la pretemporada 2009 tenían un jugador más en la demarcación de mediocentro y un jugador menos en la demarcación de defensa lateral con respecto a la pretemporada anterior, 2008. La distribución, en unidades, de jugadores por demarcación en ambas pretemporadas es: 2 porteros, 3,5 defensas laterales, 5 defensas centrales, 5,5 mediocentros, 4 interiores y 4 delanteros.

### 4.1.3. DESCRIPCIÓN ANTROPOMÉTRICA DE LA MUESTRA

#### 4.1.3.1. Estatura

La estatura promedio de los jugadores de nuestro estudio (n=33) fue de 181,8±4,3 cm (media± DE), expuesto en la Tabla 19.

Al diferenciar por pretemporadas, observamos como en la pretemporada 2008 la estatura promedio de los jugadores (n=24) fue de 182,0±4,1 cm y en la pretemporada 2009 (n=24) fue de 181,6±4,6 cm.

Se realizó un prueba t-Student de muestras independientes en función de las pretemporadas, y se obtuvo como podemos ver en la tabla 19, que la plantilla en la pretemporada 2008 tenía una estatura promedio mayor, pero dicha diferencia no fue significativa, aceptando así la hipótesis de igualdad de medidas en ambas pretemporadas ( $t_{(46)}=0,299$ ;  $p=0,766$ ).

**Tabla 19.-** Estatura promedio (cm) en función de la pretemporada y total.

<b>Estatura</b>	<b>Pretemporada 2008</b>	<b>Pretemporada 2009</b>	<b>Total</b>
<i>Nº Jugadores</i>	24	24	33
<i>Media</i>	182,0	181,6	181,8
<i>DE</i>	4,1	4,6	4,3

#### 4.1.3.2. Peso

El peso promedio de los jugadores registrados (n=33) fue de 75,6±4,2 Kg (Ver tabla 20).

Al diferenciar por pretemporadas, en la tabla 20 se puede ver como en la pretemporada 2008 el peso promedio de los jugadores (n=24) fue de 76,3±4,2 Kg y en la pretemporada 2009 (n=24) fue de 75,8±4,1 Kg.

**Tabla 20.-** Peso promedio (Kg) en función de las pretemporadas.

<b>Peso</b>	<b>Pretemporada 2008</b>	<b>Pretemporada 2009</b>	<b>Total</b>
<i>Nº Jugadores</i>	24	24	33
<i>Media</i>	76,3	75,8	75,6
<i>DE</i>	4,2	4,1	4,2

Al realizar una t-Student de muestras independientes en función de las pretemporadas, se obtuvo que no hay diferencias significativas en el peso corporal de los jugadores entre la pretemporada 2008 y 2009, aceptando, de esta forma, la hipótesis de igualdad de medias en ambas pretemporadas ( $t_{(46)}=0,454$  con  $p=0,652$ ).

#### **4.1.3.3. Lateralidad**

En la plantilla de fútbol profesional que participó en el estudio, encontramos que el 84,8% de los jugadores eran diestros y el 15,2% zurdos, sin haber durante las dos pretemporadas que duró el estudio algún jugador ambidiestro.

Si analizamos las pretemporadas por separado vemos que coinciden el número de jugadores diestros y zurdos, con un 87,5% y un 12,5% respectivamente, durante el 2008 y 2009. Con estos datos no necesitamos ningún análisis estadístico para explicar la homogeneidad, con respecto a la lateralidad, de los grupos de sujetos en ambas pretemporadas.

#### **4.1.3.4. Edad**

La edad promedio para los jugadores participantes en el estudio ( $n=33$ ) fue de  $26,9 \pm 3,9$  años.

En función de la pretemporada, no encontramos diferencias significativas tras la realización de un análisis de t-Student de muestras independientes para la edad ( $t_{(46)}=0,096$  con  $p=0,924$ ), aunque podemos ver en la tabla 21, como fue ligeramente

inferior la edad promedio de los jugadores pertenecientes a la pretemporada 2009 ( $27,3 \pm 3,9$  años) con respecto a los de la pretemporada 2008 ( $27,4 \pm 4,0$  años).

**Tabla 21.-** Edad promedio (años) en función de la pretemporada y total.

<b>Edad</b>	<b>Pretemporada 2008</b>	<b>Pretemporada 2009</b>	<b>Total</b>
<i>Nº Jugadores</i>	24	24	33
<i>Media</i>	27,4	27,3	26,9
<i>DE</i>	4,0	3,9	3,9

#### 4.2. DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE EXPOSICIÓN

La exposición total (horas de juego y entrenamiento) de todos los jugadores ( $n=24$ ) en la pretemporada 2008, supuso 1.815 horas y en la pretemporada 2009 ( $n=24$ ) supuso 1.750 horas. En la tabla 22, podemos observar las horas de exposición total en entrenamiento-competición y por jugador, tanto en la pretemporada 2008 como en la 2009.

**Tabla 22.-** Horas de exposición total y promedio por jugador en la pretemporada 2008 y 2009.

<b>Exposición (horas)</b>	<b>Pretemporada 2008</b>	<b>Pretemporada 2009</b>
<i>Total</i>	1.815	1.750
<i>Jugador</i>	$75,64 \pm 17,38$	$72,94 \pm 2,49$

Como reflejan los datos, en la pretemporada 2008 la exposición total de los jugadores a la práctica deportiva fue ligeramente superior que en 2009, pero estas diferencias no son significativas tras realizar la prueba t-Student para muestras independientes ( $t_{(46)}=0,755$  con  $p=0,458$ ).

A continuación, en los puntos siguientes profundizaremos en los tiempos de exposición de entrenamiento y partidos amistosos de ambas pretemporadas.

#### 4.2.1. TIEMPO DE EXPOSICIÓN A ENTRENAMIENTO

La exposición a entrenamiento (sesiones de entrenamiento y calentamiento de partidos amistosos) de todos los jugadores (n=24) en la pretemporada 2008, supuso 1.683 horas y en la pretemporada 2009 (n=24) supuso 1.602 horas. En la tabla 23, podemos observar las horas de exposición de entrenamiento y un promedio por jugador, tanto en la pretemporada 2008 como en la 2009:

**Tabla 23.-** Horas de exposición de entrenamiento y promedio por jugador en la pretemporada 2008 y 2009.

<b>Exposición (horas)</b>	<b>Pretemporada 2008</b>	<b>Pretemporada 2009</b>
<i>Entrenamiento</i>	1.683	1.602
<i>Jugador</i>	70,13 ± 16,12	66,75 ± 2,26

En función de la pretemporada, no se encontraron diferencias significativas tras la realización de un análisis de t-Student de muestras independientes para la exposición de entrenamientos ( $t_{(23)}=1,017$  con  $p=0,319$ ).

#### 4.2.2. TIEMPO DE EXPOSICIÓN A COMPETICIÓN

La exposición a competición (partidos amistosos) de todos los jugadores (n=24) en la pretemporada 2008, supuso 132 horas y en la pretemporada 2009 (n=24) supuso 148 horas. En la tabla 24, podemos observar las horas de exposición de competición y un promedio por jugador, tanto en la pretemporada 2008 como en la 2009:

**Tabla 24.-** Horas de exposición de competición y promedio por jugador en la pretemporada 2008 y 2009.

<b>Exposición (horas)</b>	<b>Pretemporada 2008</b>	<b>Pretemporada 2009</b>
<i>Partido amistoso</i>	132	148
<i>Jugador</i>	5,52 ± 1,29	6,1 ± 0,39

En función de la pretemporada, se encontraron diferencias significativas en las horas de exposición de competición tras la realización de un análisis de t-Student de muestras independientes para la exposición de competición ( $t_{(27)}=-2,442$ ;  $p<0,05$ ).

### 4.3. RESULTADOS DESCRIPTIVOS Y COMPARATIVOS DE LAS LESIONES PADECIDAS EN LA PRETEMPORADA 2008 Y 2009

A continuación se pasarán a analizar los aspectos más relevantes sobre las lesiones producidas en las dos pretemporadas de estudio.

#### 4.3.1. FRECUENCIA DE LESIÓN

En valores absolutos, los resultados sobre el número total de lesiones producidas en las dos pretemporadas analizadas es de 21 lesiones. Si consideramos el número total de lesiones producidas en la pretemporada 2009 (n=6 lesiones) comparadas con las que se produjeron en la pretemporada 2008 (n=15 lesiones) su número se redujo en un 60%. Cuando analizamos las medias (2008=0,63±0,77 / 2009=0,25±0,53) con una prueba t-Student para muestras independientes, se observa que existen diferencias significativas ( $t_{(46)}=1,964$  con  $p<0,05$ ).

Si analizamos el número de lesiones que se produjeron en competición y entrenamiento en ambas pretemporadas, observamos que en el 2008 el 73,3% de las lesiones producidas fueron en entrenamiento y el 26,7% en competición. Sin embargo, en el 2009 el 83,3 % de las lesiones producidas fueron en el entrenamiento y el 16,7 en competición, como muestra la tabla 25.

**Tabla 25.-** Tabla de contingencia frecuencial y porcentual de lesiones en entrenamiento y competición durante ambas pretemporadas.

<b>Frecuencia</b>	<b>Pretemporada 2008</b>		<b>Pretemporada 2009</b>		<b>Total</b>	
<i>Entrenamiento</i>	11	73,3 %	5	83,3 %	16	76,2 %
<i>Competición</i>	4	26,7 %	1	16,7 %	5	23,8 %
<i>Total</i>	15	100%	6	100%		100%

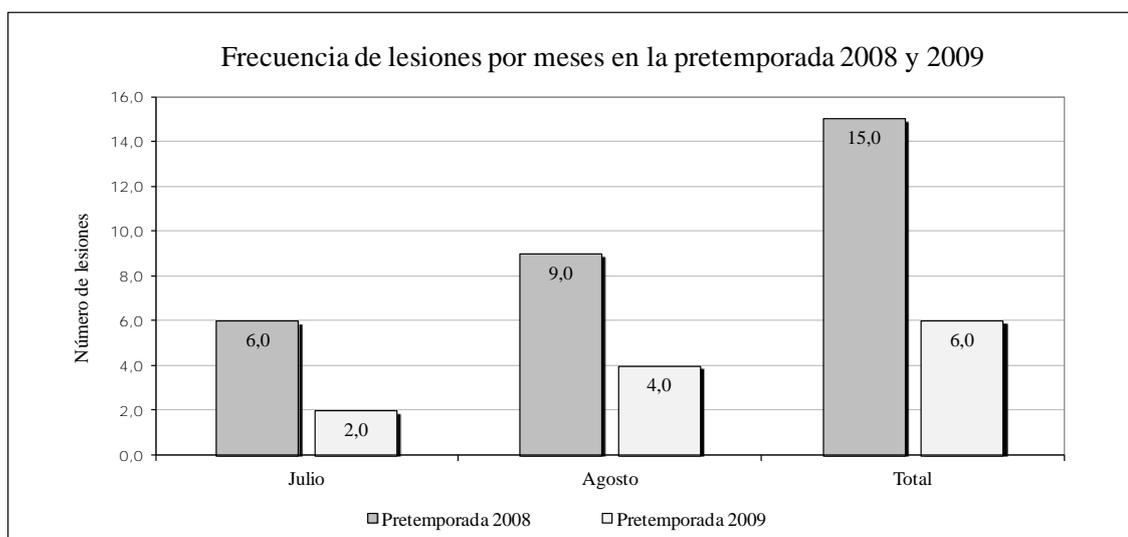
Con la comparación de proporciones mediante la prueba de chi-cuadrado ( $\chi^2_{(1)}=0,236$ ;  $p=0,627$ ) y V de Cramer ( $V_{\text{Cramer}}=0,106$ ;  $p=0,627$ ) se estableció que la distribución de los datos de frecuencia de lesión en entrenamiento y competición durante las dos pretemporadas no tienen relación significativa.

Si analizamos diferenciando la frecuencia de lesión en los meses de julio y agosto, en función de la pretemporada (ver tabla 26), la prueba chi-cuadrado ( $\chi^2_{(1)}=0,081$ ;  $p=0,776$ ) y V de Cramer ( $V_{\text{Cramer}}=0,062$ ;  $p=0,776$ ) indican que no hay relaciones significativas cuando comparamos las lesiones en julio y agosto en función de las pretemporadas 2008 y 2009.

**Tabla 26.-** Tabla de contingencia porcentual de lesiones en los meses de julio y agosto en función de la pretemporada.

Frecuencia	Pretemporada 2008	Pretemporada 2009	Total
<i>Julio</i>	40 %	33,3 %	38,1 %
<i>Agosto</i>	60 %	66,7 %	61,9 %
<i>Total</i>	100%	100%	100%

En la figura 16 se puede observar cómo en el mes de julio, durante ambas pretemporadas, se obtuvo una frecuencia de lesión ligeramente inferior al mes de agosto (valores totales: julio<sub>2008-2009</sub>=15,0; agosto<sub>2008-2009</sub>=6,0).



**Figura 16.-** Número de lesiones por meses en función de la pretemporada.

#### 4.3.1.1. Probabilidad de sufrir una lesión

En primer lugar, haremos referencia al número de jugadores ( $n=16$ ) que sufren al menos una lesión a lo largo de las dos pretemporadas, 2008 y 2009, encontrando que el 33,3% de los jugadores tuvo al menos una lesión en este periodo temporal, causando baja, y el 66,6% del conjunto de jugadores no padeció ningún tipo de lesión.

Cuando analizamos este mismo dato de forma separada en función de la pretemporada, obtuvimos que el porcentaje de jugadores lesionados fue mayor en la pretemporada 2008 con 45,8 %, y en la pretemporada 2009 se redujo en más de la mitad, el porcentaje de jugadores lesionados, 20,8 %, como podemos ver en la tabla 27.

**Tabla 27.-** Tabla de contingencia porcentual de jugadores que sufrieron o no una lesión a lo largo de la pretemporada 2008 y 2009.

<b>Pretemporada</b>	<b>% Lesión</b>	<b>% No Lesión</b>
<i>2008</i>	45,8 %	54,2 %
<i>2009</i>	20,8 %	79,2 %
<i>Total</i>	33,3 %	66,6 %

A partir del número de jugadores lesionados respecto al total de los jugadores del equipo podemos determinar la probabilidad de lesión del jugador en cada una de las temporadas. En la tabla 28 se observa cómo la probabilidad de que un jugador sufra una lesión en la pretemporada 2008 fue del 85% (Razón de ventaja u *odds ratio*) y la probabilidad de que un jugador sufriera una lesión en la pretemporada 2009 fue del 26%. Se puede apreciar que el riesgo relativo de sufrir una lesión fue un 220% mayor en la pretemporada 2008 que en la pretemporada 2009.

**Tabla 28.-** Tabla para el cálculo del índice de riesgo lesión de un jugador y la probabilidad de lesión del jugador durante la pretemporada 2008 y 2009.

Pretemporada	No Lesión	Lesión	Totales	Índice de Riesgo	Riesgo Relativo	Ventaja (Odds)
2008	13	11	24	$11/24=0,46$	$0,46/0,21= 2,20$	$0,46/(1-0,46)=$ <b>0,85</b>
2009	19	5	24	$5/24=0,21$	220%	$0,21/(1-0,21)=$ <b>0,26</b>
<i>Total</i>	32	16	48			

#### 4.3.1.2. Lesiones por jugador y pretemporada

Dentro del grupo de jugadores que sufrieron al menos una lesión a lo largo de ambas pretemporadas, analizamos el promedio de lesiones que tuvieron durante la temporada, encontrando que existe un promedio de 1,3 lesiones por jugador.

Diferenciando en función de la pretemporada, obtuvimos que en 2008 los jugadores que tuvieron al menos una lesión sufrieron un promedio de 1,3 lesiones por jugador y en 2009 sufrieron un promedio de 1,2 lesiones por jugador (ver tabla 29).

**Tabla 29.-** Promedio de lesiones que sufren los jugadores en función de la pretemporada, valorando todos los jugadores participantes en el estudio, o solamente aquellos que sufrieron alguna lesión.

Pretemporada	Promedio de lesiones en jugadores lesionados	Promedio de lesiones en todos los jugadores
2008	1,4	0,62
2009	1,2	0,25
<i>Total</i>	1,4	0,43

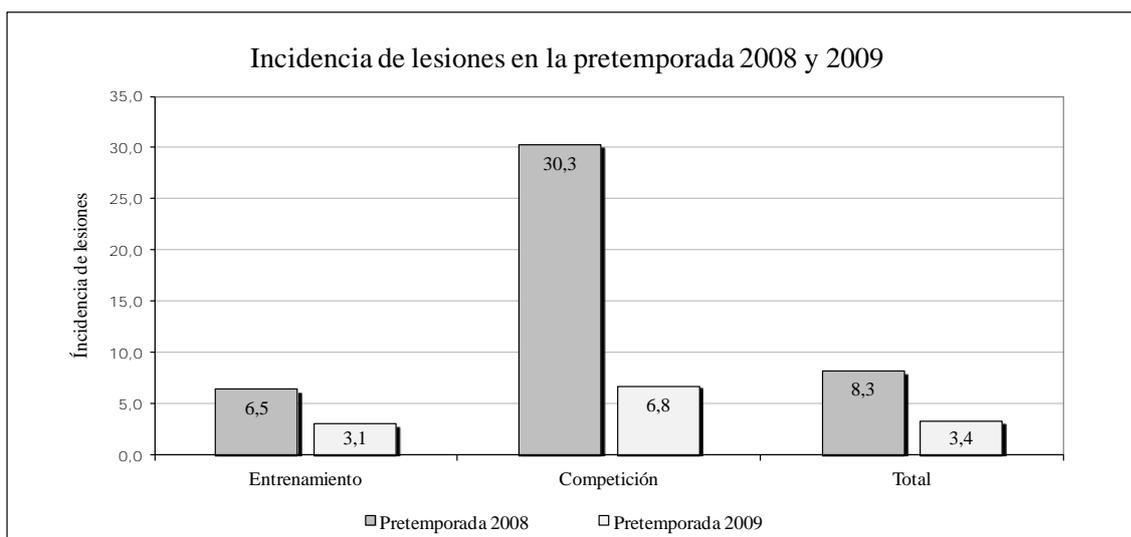
Analizado de forma individual a cada jugador, se encontró como valor máximo 2 lesiones a lo largo de una pretemporada. Si lo sintetizamos por pretemporadas, en el 2008 encontramos a 4 jugadores con dos lesiones durante la pretemporada y en el 2009 encontramos a un jugador con dos lesiones.

### 4.3.2. INCIDENCIA DE LESIÓN

Teniendo en cuenta el número de lesiones y el tiempo de exposición, se calculó la incidencia de lesión por cada 1000 horas de exposición obteniendo el resultado promedio en ambas pretemporadas de 5,9 les./1000h. de práctica deportiva de fútbol profesional. Si dentro de ésta diferenciamos en función de la situación en la que se produjo la lesión, obtenemos los siguientes resultados:

- Entrenamiento: 4,9 lesiones / 1000 horas de exposición.
- Competición: 17,9 lesiones / 1000 horas de exposición.

A continuación se puede ver en la figura 17 los resultados de la incidencia de lesión en función de la pretemporada 2008 y 2009. En ella podemos ver que en la temporada 2009, cuando el equipo llevó a cabo la intervención basándose en la información de las evaluaciones termográficas para tomar decisiones con jugadores en situación de riesgo de lesión, los valores de la incidencia de lesión fueron menores que en la pretemporada 2008, tanto en los valores totales ( $X_{2008}=8,3\pm14,05$ ;  $X_{2009}=3,4\pm7,62$ ), como en entrenamiento ( $X_{2008}=6,5\pm9,39$ ;  $X_{2009}=3,1\pm7,98$ ) y, sobre todo, en los valores referentes a la competición ( $X_{2008}=30,3\pm86,49$ ;  $X_{2009}=6,8\pm34,02$ ).



**Figura 17.-** Incidencia de lesión (nº de lesiones / 1000 horas de exposición) en entrenamientos, competición y total, en función de la pretemporada.

La prueba t-Student para muestras independientes nos confirma la existencia de diferencias significativas ( $t_{(46)}=1,956$ ;  $p<0,05$ ) en la incidencia de lesión total registrada en ambas pretemporadas.

### 4.3.3. LOCALIZACIÓN DE LAS LESIONES

En la tabla 30 se pueden ver las localizaciones de las lesiones producidas en las dos pretemporadas estudiadas. La mayor frecuencia de lesión en ambas pretemporadas se centró en el muslo (47,6% de todas las lesiones), seguido de las regiones cadera/aductor y tobillo principalmente (14,3% de todas las lesiones respectivamente).

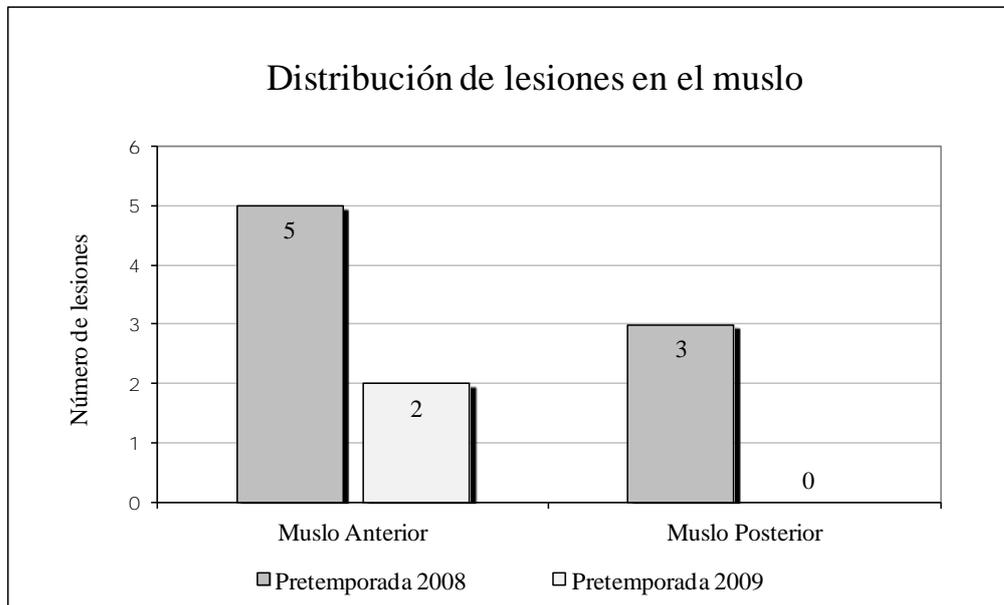
**Tabla 30.-** Tabla de contingencia frecuencial y porcentual de las lesiones en función de la localización durante ambas pretemporadas.

Localización	Pretemporada 2008		Pretemporada 2009		Total	
<i>Muslo</i>	8	53,3%	2	33,3%	10	47,6%
<i>Rodilla</i>	2	13,3%	0	0%	2	9,5%
<i>Cadera - Aductor</i>	3	20,0%	0	0%	3	14,3%
<i>Pierna – Talón</i>	0	0%	2	33,3%	2	9,5%
<i>Tobillo</i>	2	2%	1	16,7%	3	14,3%
<i>Lumbar</i>	0	0%	1	16,7%	1	4,8%
<i>Total</i>	15	100%	6	100%	21	100%

En la pretemporada 2009 podemos destacar la ausencia de lesiones en las rodillas y la reducción de lesiones en el muslo (del 53,3% en 2008 al 33,3% en 2009) y aductores (del 20% en 2008 al 0% en 2009), lugares de gran frecuencia de lesión en el fútbol. Por otro lado, destacar el aumento, con un 33,3%, de lesiones en pierna y talón en 2009. Al realizar la prueba chi-cuadrado ( $\chi^2_{(6)}=10,710$ ;  $p=0,098$ ) y la d de Somers ( $d_{\text{Somers}}=0,137$ ;  $p=0,520$ ) comprobamos que no existe relación en la localización de las lesiones entre la pretemporada 2008 y 2009.

Teniendo en cuenta la zona donde mayor frecuencia de lesión se produce en el fútbol, el muslo tiene un valor significativamente superior de lesiones ( $t_{(47)}=2,269$ ;  $p<0,05$ ) en 2008 frente al 2009. Además, en la figura 18 se puede observar que en 2008 y 2009 se producen más lesiones en el muslo anterior que en el muslo posterior.

Destacar, que en la pretemporada 2009 hay una ausencia de lesiones en el muslo posterior y se reducen las lesiones en el muslo anterior en comparación con el 2008.



**Figura 18.-** Distribución del número de casos de lesión en el muslo anterior y posterior.

#### 4.3.4. TIPOLOGÍA DE LAS LESIONES

Si atendemos a la tipología de las lesiones, en la tabla 31 se pueden ver los resultados en las dos pretemporadas estudiadas.

Como muestra la tabla 31, el tipo de lesión con mayor frecuencia en ambas pretemporadas, fue muscular (61,9% de todas las lesiones), seguida de las de tipo tendinosa y articular principalmente (19% y 9,5% de todas las lesiones respectivamente).

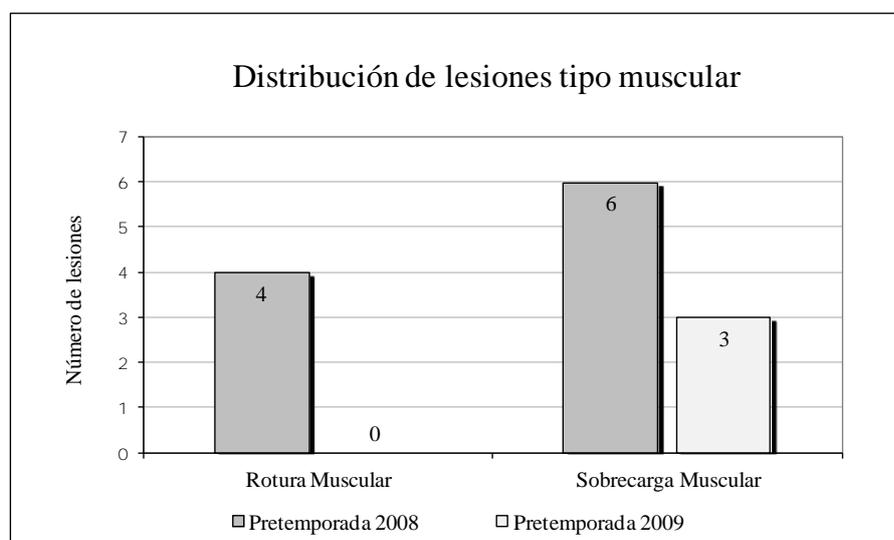
Al realizar la prueba chi-cuadrado ( $\chi^2_{(4)}=3,567$ ;  $p=0,468$ ) y la d de Somers ( $d_{\text{Somers}}=-0,260$ ;  $p=0,223$ ) comprobamos que no existe relación significativa entre el porcentaje de lesiones en función de la tipología y la pretemporada 2008 y 2009.

**Tabla 31.-** Frecuencia y porcentaje de lesión en función de la tipología de las lesiones en total y en cada una de las pretemporadas.

Tipología	Pretemporada 2008		Pretemporada 2009		Total	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
<i>Osea</i>	0	0%	1	16,7%	1	4,8%
<i>Articular</i>	1	6,7%	1	16,7%	2	9,5%
<i>Muscular</i>	<b>10</b>	<b>66,7%</b>	<b>3</b>	<b>50%</b>	<b>13</b>	<b>61,9%</b>
<i>Tendinosa</i>	3	20%	1	16,7%	4	19%
<i>Contusión</i>	1	6,7%	0	0%	1	4,8%
<i>Sistema Nervioso</i>	0	0%	0	0%	0	0%
<i>Total</i>	15	100%	6	100%	21	100%

Podemos destacar que en la pretemporada 2009 se produjo un descenso de las lesiones musculares y tendinosas, y un aumento de las lesiones de tipo óseo y articular en relación con la pretemporada 2008.

Teniendo en cuenta que las lesiones de tipo muscular son las de mayor frecuencia en el fútbol, encontrándonos en nuestro estudio un número total de 13 casos, de las cuales 10 lesiones se produjeron en el 2008 y 3 en el 2009, un número significativamente inferior ( $t_{(46)}=2,356$ ;  $p<0,05$ ). La figura 19 profundiza en la distribución dentro de este tipo de lesiones. Podemos destacar que en la pretemporada 2009 no se produjo ninguna rotura muscular y que se redujo en la mitad el número de casos de sobrecargas musculares.



**Figura 19.-** Distribución de lesiones de tipo muscular en la pretemporada 2008 y 2009.

#### 4.3.5. SEVERIDAD DE LAS LESIONES

Como podemos ver en la tabla 32, en el total de ambas pretemporadas cuanto mayor fue la gravedad de la lesión, menor fue la frecuencia con la que éstas se dieron (4,8%). Por el contrario, cuanto menor fue la gravedad de la lesión, mayor fue la frecuencia con la que éstas se dieron (47,6%).

**Tabla 32.-** Frecuencia y proporción de lesiones (%) en función de la gravedad de lesión.

Severidad	Pretemporada 2008		Pretemporada 2009		Total	
<i>Leve</i>	5	33,3%	5	83,3%	10	47,6%
<i>Menor</i>	2	13,3%	0	0%	2	9,5%
<i>Moderada</i>	7	46,7%	1	16,7%	8	38,1%
<i>Grave</i>	1	6,7%	0	0%	1	4,8%
<i>Total</i>	15	100%	6	100%	21	100%

Si analizamos los datos de las dos pretemporadas por separado a través de una prueba de chi-cuadrado ( $\chi^2_{(5)}=3,436$ ;  $p=0,329$ ) y *d* de Somers ( $d_{\text{Somers}}=-0,341$ ;  $p=0,058$ ) podemos decir que no se encontraron relaciones significativas y dependencia entre los datos de la pretemporada 2008 y 2009, sin embargo la cercanía en la significación del estadístico, nos induce a pensar que pudo haber un incremento de la proporción de lesiones leves en la temporada 2009 con respecto a 2008. En la tabla 32 se puede ver como las lesiones que se produjeron en la pretemporada 2009 revistieron menos gravedad. Casi el 50% de las lesiones que se produjeron en la pretemporada 2008 fueron de carácter moderado, por lo que conllevaron una ausencia del jugador en los entrenamientos colectivos de entre 8 y 28 días, mientras que la gran mayoría de las lesiones que se produjeron en la pretemporada 2009 fueron lesiones de carácter leve (83,3%).

#### 4.3.6. MECANISMO DE PRODUCCIÓN

Cuando analizamos el mecanismo de producción de todas las lesiones registradas durante las dos pretemporadas, se observa como las lesiones por sobrecarga fueron las más comunes con un 85,7% de todas las lesiones (ver tabla 33). Además,

destacar que todas las lesiones por traumatismo que se sucedieron en las dos pretemporadas (14,3%) fueron con contacto.

**Tabla 33.-** Tabla de contingencia del número de lesiones por traumatismo y sobrecarga en función de la pretemporada.

<b>Mecanismo</b>	<b>Pretemporada 2008</b>		<b>Pretemporada 2009</b>		<b>Total</b>	
<i>Por Traumatismo</i>	2	13,3%	1	16,7%	3	14,3%
<i>Por Sobrecarga</i>	13	86,7%	5	83,3%	18	85,7%
<i>Total</i>	15	100%	6	100%	21	100%

Cuando realizamos el análisis comparativo entre las dos pretemporadas, podemos ver que las lesiones por traumatismo o contacto se mantienen en ambas pretemporadas estudiadas en torno a un 15% y por sobrecarga en un 85%. Cuando realizamos la prueba chi-cuadrado cuadrado ( $\chi^2_{(1)} = 0,039$ ;  $p = 0,844$ ) y  $d$  de Somers ( $d_{\text{Somers}} = -0,042$ ;  $p = 0,850$ ) comprobamos que los resultados de lesiones del 2008 y del 2009 fueron independientes del mecanismo de producción.

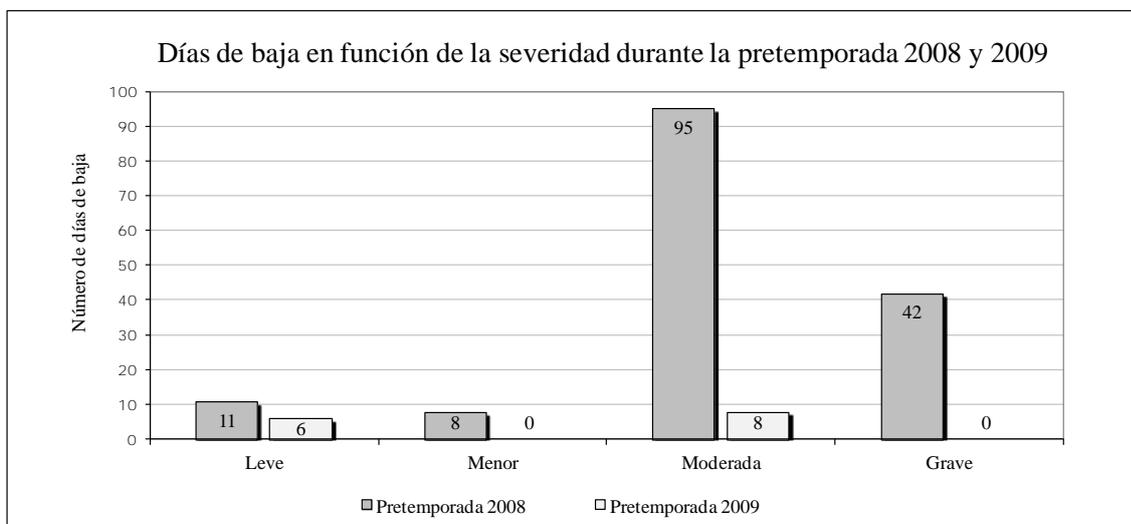
#### 4.3.7. DÍAS DE BAJA POR LESIÓN

Cuando analizamos el número de días de baja que provocan todas las lesiones registradas durante las dos pretemporadas, el dato que nos sale es un total de 170 días de baja, con un promedio de  $8,09 \pm 10,03$  días por lesión.

Debido a las circunstancias anteriores analizadas, si consideramos como indicador conjunto de ocurrencia y gravedad de lesión los días de baja que ocasionaron a los jugadores el tratamiento y rehabilitación de las mismas, los datos obtenidos para las pretemporadas 2008 y 2009 tienen tendencias aún más extremas que en los análisis anteriores. El número de días de baja producido por lesiones en las dos pretemporadas suman un total de 170 días. Si realizamos la comparativa entre ambas pretemporadas, observamos como el 8,2% de los días de baja se produjeron en 2009 ( $n = 14$  días y con un promedio de  $2,3 \pm 2,80$  días por lesión), y el 91,8% de los días de baja se produjeron en la pretemporada 2008 ( $n = 156$  días y con un promedio de  $10,4 \pm 11,01$  días por lesión). La prueba t-Student para muestras independientes nos dice que estas diferencias

de días de baja en ambas pretemporadas son menores en 2009 significativamente ( $t_{(46)} = 2,406$ ;  $p < 0,05$ ).

Por último, la figura 20 nos muestra los días de baja en función de la severidad de lesión. Como resultado obtuvimos que fueron las lesiones categorizadas como graves y moderadas, aquellas que causaron un mayor número de días de baja (16,1 días de baja promedio por lesión).



**Figura 20.-** Número de días de baja en cada una de las pretemporadas estudiadas en función de su severidad.

#### 4.3.8. LATERALIDAD DE LESIÓN

En este apartado analizamos las lesiones en función de la lateralidad, para ello veremos si la lesión se ha producido en la pierna dominante del jugador, o por el contrario si la lesión se ha producido en la parte no dominante del jugador. En el caso de los jugadores ambidiestros, siempre se considera el lado lesionado como el “dominante” pero en nuestro estudio no tuvimos ningún sujeto ambidiestro. Hubo también otra serie de lesiones, donde este concepto de lateralidad no se pudo llevar a cabo y éstas se categorizaron como “no aplicable”.

De las 21 lesiones registradas en ambas pretemporadas, el 4,8% fueron contestadas como “no aplicables” dentro de la lateralidad. De las restantes lesiones, el

57,1% de las lesiones se produjeron en la parte dominante, frente al 38,1% que se dieron en el hemicuerpo del cuerpo no dominante, como nos indica la tabla 34.

**Tabla 34.-** Número y porcentaje de lesiones (%) en función de la lateralidad del jugador lesionado.

Lateralidad	Pretemporada 2008		Pretemporada 2009		Total	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
<i>No dominante</i>	5	33,3%	3	50%	8	38,1%
<i>Dominante</i>	10	66,7%	2	33,3%	12	57,1%
<i>No aplicable</i>	0	0%	1	16,7%	1	4,8%
<i>Total</i>	15	100%	6	100%	21	100%

Analizando el resultado de la prueba de chi-cuadrado ( $\chi^2_{(3)} = 6,95$ ;  $p = 0,075$ ) y la *d* de Somers ( $d_{\text{Somers}} = -0,223$ ;  $p = 0,81$ ), para analizar la dominancia de la pierna lesionada, diferenciando en función de la pretemporada en la que se produjo la lesión, sin obtener relaciones significativas.

#### 4.4. RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES TERMOGRÁFICAS

En este apartado de resultados se hace un análisis de las 730 evaluaciones termográficas realizadas a los jugadores durante un total de 31 tomas de datos efectuadas en la pretemporada 2009.

Por un lado, estableceremos un perfil térmico del miembro inferior de los jugadores participantes en el estudio según temperaturas máximas o medias y según lateralidad o dominancia de la pierna.

Por otro lado, teniendo en cuenta que la temperatura de la sala es uno de los factores que más influyen en el registro de las temperaturas corporales de los sujetos por la cámara termográfica y, en nuestro estudio, dicha temperatura no se pudo mantener constante durante todas las evaluaciones, aunque su promedio sí entre dentro de los valores ideales. Realizamos un análisis para ver la influencia de la temperatura de la sala de evaluación sobre la temperatura registrada por la cámara en cada una de las zonas corporales estudiadas.

Por último, destacar que todos los análisis estadísticos de este punto se realizan excluyendo aquellas evaluaciones donde el jugador figuraba como lesionado, un total de 14 evaluaciones que corresponden con los días de baja esa misma pretemporada.

#### **4.4.1. PERFIL TÉRMICO DEL MIEMBRO INFERIOR DE LOS JUGADORES PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO**

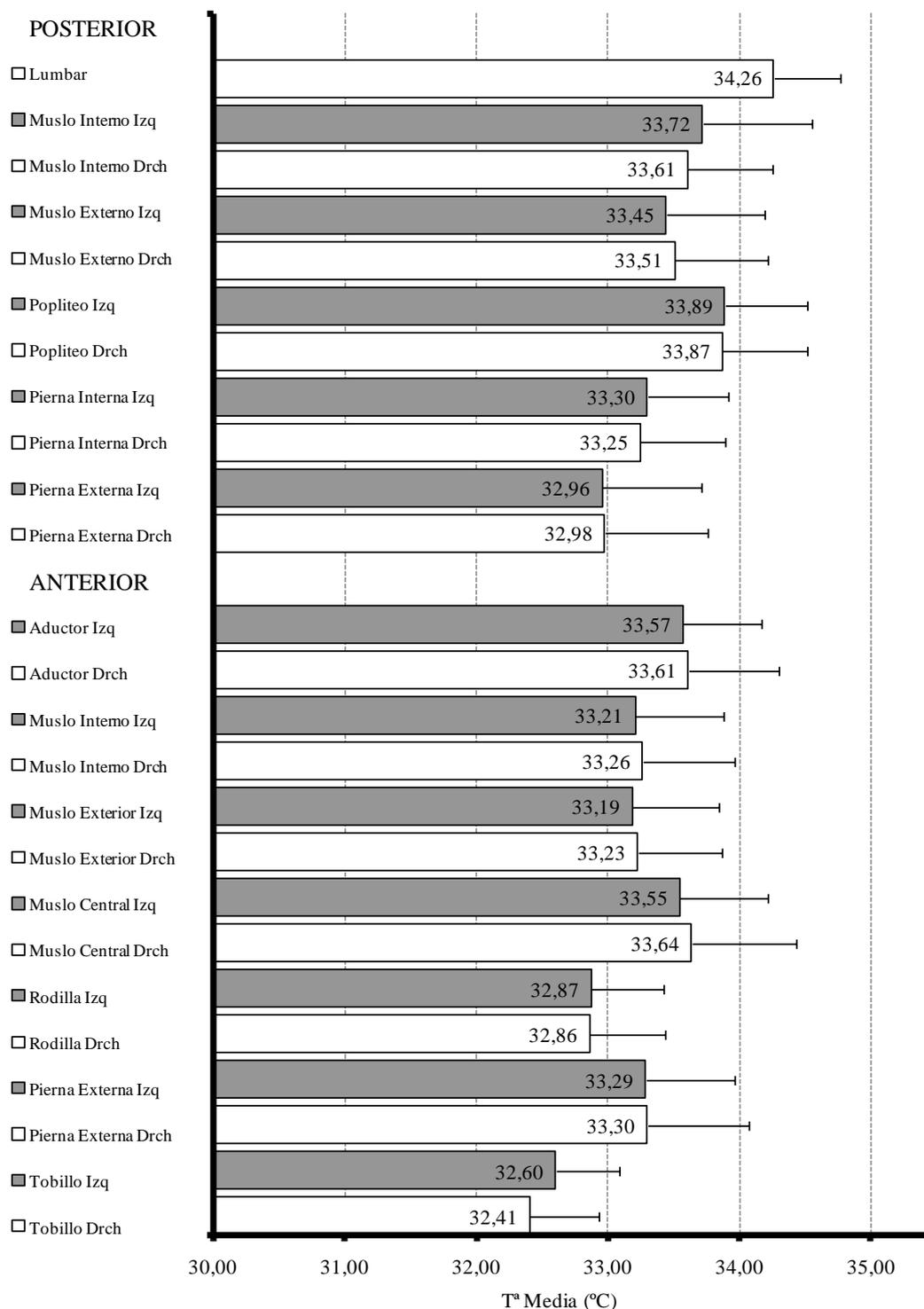
##### **4.4.1.1. Perfil térmico en función de la lateralidad**

El perfil térmico del miembro inferior en función de la lateralidad se realizó con el promedio y la desviación estandar de todas las temperaturas máximas y medias de cada una de las zonas corporales. En el Anexo VI podemos ver un resumen de todos los datos utilizados en el análisis estadístico, estructurado por cada una de las diferentes temperaturas de sala registradas con el objetivo de ofrecer temperaturas de referencia para posteriores estudios e intervenciones. En la figura 21 se muestra el resultado conseguido con las medias de las temperaturas máximas.

Como se observa en la figura 21, parece indicar que la zona corporal con una estimación del promedio de temperaturas máximas superior al resto es la lumbar ( $34,26 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ), la más cercana al epicentro del cuerpo, seguida de las zonas poplíteas ( $33,88 \pm 0,63^{\circ}\text{C}$ ), de los muslos anteriores centrales ( $33,59 \pm 0,73^{\circ}\text{C}$ ) y de los aductores ( $33,59 \pm 0,63^{\circ}\text{C}$ ) respectivamente. En cambio, las zonas corporales con una estimación del promedio de temperaturas máximas inferiores al resto son los tobillos ( $32,50 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ) y las rodillas ( $32,87 \pm 0,56^{\circ}\text{C}$ ).

Si analizamos las temperaturas de cada zona corporal teniendo en cuenta la lateralidad, ver tabla 35, observamos cómo todas las zonas corporales mantienen un equilibrio o similitud térmica entre la zona corporal derecha e izquierda, con diferencias no significativas que van desde  $0,01^{\circ}\text{C}$  en rodillas a  $0,11^{\circ}\text{C}$  en muslos internos posteriores. Los tobillos son la única excepción, al tener una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre ellos de  $0,19^{\circ}\text{C}$ , bastante superior al resto de zonas. Destacar también, las zonas de MusAc, MusAe y Pop con valores de *p valor* muy cercanos a 0,05.

## PERFIL TÉRMICO SEGÚN LATERALIDAD (T<sup>a</sup> MÁXIMAS - SIN LESIONADOS)



**Figura 21.-** Perfil térmico de temperaturas máximas del miembro inferior de los jugadores en la pretemporada 2009 según lateralidad y sin datos de lesionados.

**Tabla 35.-** Tabla de diferencia de medias y prueba t-Student de los promedios de temperaturas máximas para cada una de las zonas corporales estudiadas en función de su lateralidad.

Zonas Corporales	Diferencia de Medias		t-Student muestras relacionadas		
	Media $\Delta T$	DE	t	gl	p valor
AduD – AduI	0,04	0,17	1,133	20	0,271
RodD – RodI	-0,01	0,15	-0,382	20	0,707
MusAcD – MusAcI	0,09	0,20	2,013	20	0,060
TobD – TobI	<b>-0,19</b>	<b>0,14</b>	<b>-6,228</b>	<b>20</b>	<b>&lt;0,05*</b>
PieAeD – PieAeI	0,01	0,15	0,360	20	0,723
MusAeD – MusAeI	0,04	0,11	2,003	20	0,067
MusAiD – MusAiI	0,05	0,14	1,183	20	0,118
MusPeD – MusPeI	0,06	0,12	1,490	20	0,137
MusPiD – MusPiI	-0,11	0,31	-1,644	20	0,116
PiePeD – PiePeI	0,02	0,11	0,859	20	0,400
PiePiD – PiePiI	-0,05	0,10	-1,155	20	0,206
PopD – PopI	-0,02	0,09	-2,013	20	0,063

En la tabla 36 se muestran las medias, diferencias de medias, desviaciones típicas y valores de la prueba t-Student para muestras relacionadas de las temperaturas máximas registradas del total de las zonas del miembro inferior anterior derecho (InfAD) e izquierdo (InfAI) y posterior derecho (InfPD) e izquierdo (InfPI), al igual que el conjunto total sin diferenciar lateralidad: miembro inferior anterior (InfA) y miembro inferior posterior (InfP).

**Tabla 36.-** Media, diferencias de medias, desviaciones típicas y valores de la prueba T-Student de las temperaturas máximas registradas de todas las zonas corporales del miembro Inf, InfA y InfP.

Zonas Corporales	X $\pm$ DE	Diferencia de X		t-Student			
		Media $\Delta T$	DE	t	gl	p valor	
InfA	InfAD	33,18 $\pm$ 0,64	-0,00	0,08	-0,356	20	0,726
	InfAI	33,18 $\pm$ 0,59					
InfP	InfPD	33,44 $\pm$ 0,68	-0,01	0,06	-0,664	20	0,514
	InfPI	33,45 $\pm$ 0,69					
Inf	InfA	33,18 $\pm$ 0,62	<b>-0,26</b>	<b>0,13</b>	<b>-9,447</b>	<b>20</b>	<b>&lt;0,05*</b>
	InfP	33,45 $\pm$ 0,69					

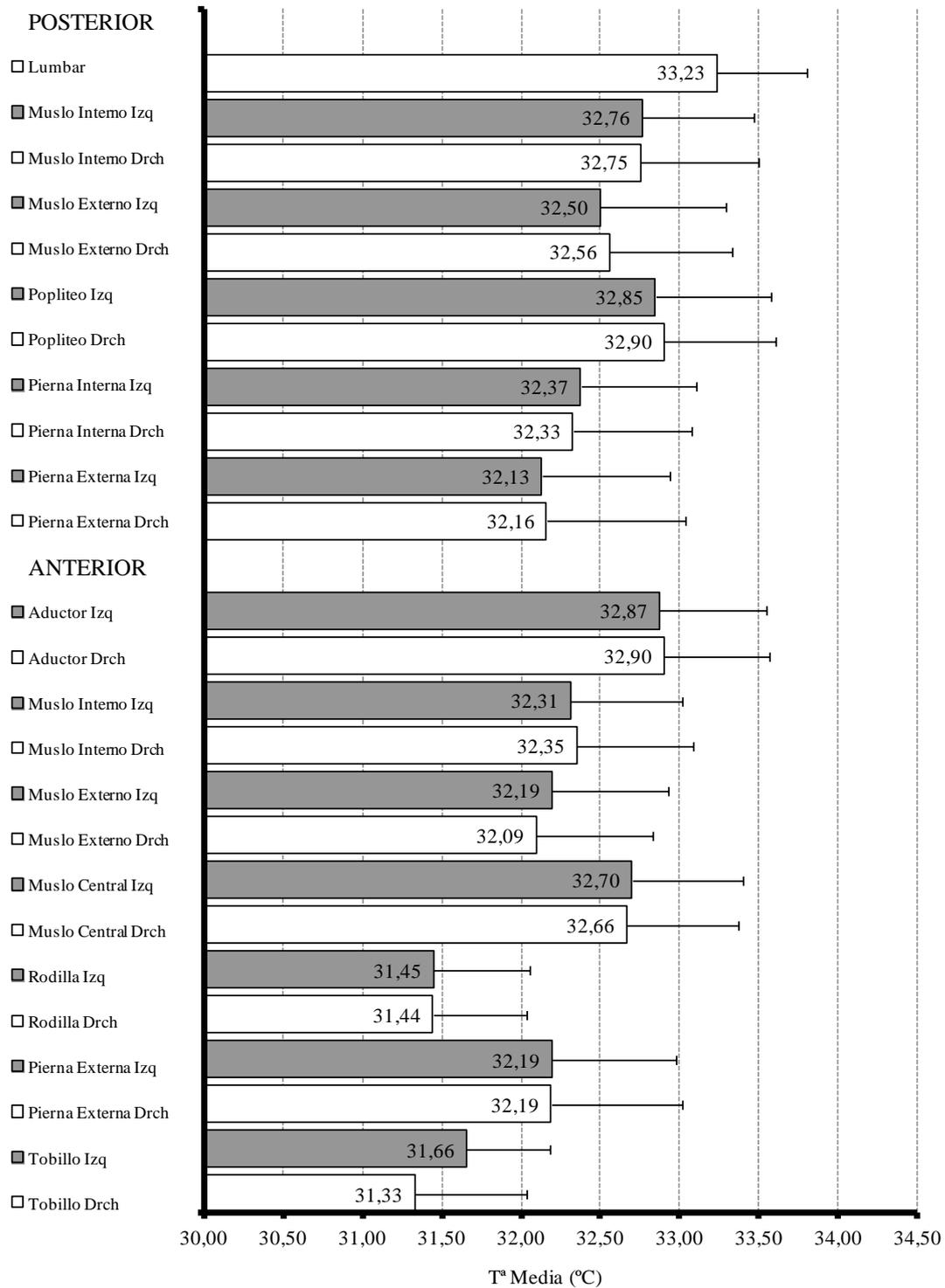
Se observa perfectamente el equilibrio térmico existente del miembro inferior en función de su lateralidad ( $\Delta T_{InfA}=0,00\pm 0,08^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta T_{InfP}=0,01\pm 0,06^{\circ}\text{C}$ ), no existiendo diferencias significativas ni en su vista anterior ni posterior. No pasa lo mismo cuando diferenciamos el miembro inferior anterior con el posterior ( $\Delta T_{Inf}=0,26\pm 0,13^{\circ}\text{C}$ ), existiendo diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre ambas partes corporales.

Una vez mostrados los resultados del análisis realizado con los datos de las temperaturas máximas registradas en función de la lateralidad, a continuación en la figura 22 se muestra el resultado conseguido con los promedios de las temperaturas medias registradas:

Como se observa en la figura 22, parece indicar que la zona corporal con una estimación del promedio de temperaturas medias superior al resto es la lumbar ( $33,23\pm 0,57^{\circ}\text{C}$ ), seguida de la zona de aductores ( $32,89\pm 0,67^{\circ}\text{C}$ ), poplíteos ( $32,87\pm 0,71^{\circ}\text{C}$ ) y muslos posteriores internos ( $32,76\pm 0,72^{\circ}\text{C}$ ) respectivamente. En cambio, las zonas corporales con una estimación del promedio de temperaturas medias inferiores al resto son los tobillos ( $31,46\pm 0,62^{\circ}\text{C}$ ) y las rodillas ( $31,45\pm 0,60^{\circ}\text{C}$ ).

Si analizamos las temperaturas de cada zona corporal teniendo en cuenta la lateralidad, ver tabla 37, observamos cómo todas las zonas corporales mantienen un equilibrio o similitud térmica entre la zona corporal derecha e izquierda, con diferencias no significativas que van desde  $0,01^{\circ}\text{C}$  en rodillas, muslos posteriores internos y piernas anteriores externas a  $0,10^{\circ}\text{C}$  en muslos anteriores externos. Los tobillos son la única excepción, al tener una diferencia significativa ( $p<0,05$ ) entre ellos de  $0,33^{\circ}\text{C}$ , bastante superior al resto de zonas.

## PERFIL TÉRMICO SEGÚN LATERALIDAD (Tª MEDIAS - SIN LESIONADOS)



**Figura 22.-** Perfil térmico de temperaturas medias del miembro inferior de los jugadores en la pretemporada 2009 según lateralidad y sin datos de lesionados.

**Tabla 37.-** Tabla de diferencia de medias y prueba t-Student de los promedios de temperaturas medias para cada una de las zonas corporales estudiadas en función de su lateralidad.

Zonas Corporales	Diferencia de Medias		t-Student muestras relacionadas		
	Media $\Delta T$	DE	t	gl	p valor
AduD – AduI	0,03	0,09	1,781	20	0,095
RodD – RodI	-0,01	0,17	-0,139	20	0,891
MusAcD – MusAcI	-0,03	0,14	-1,140	20	0,268
TobD – TobI	<b>-0,33</b>	<b>0,44</b>	<b>-3,276</b>	<b>20</b>	<b>&lt;0,05*</b>
PieAeD – PieAeI	-0,01	0,17	-0,185	20	0,855
MusAeD – MusAeI	-0,10	0,21	-1,180	20	0,254
MusAiD – MusAiI	0,04	0,10	1,741	20	0,097
MusPeD – MusPeI	0,06	0,14	1,698	20	0,119
MusPiD – MusPiI	-0,01	0,10	-0,466	20	0,646
PiePeD – PiePeI	0,03	0,16	0,887	20	0,385
PiePiD – PiePiI	-0,05	0,16	-0,555	20	0,519
PopD – PopI	0,06	0,11	1,910	20	0,075

En la tabla 38 se muestran las medias, diferencias de medias, desviaciones típicas y valores de la prueba t-Student para muestras relacionadas de las temperaturas medias registradas del total de las zonas del miembro inferior anterior derecho (InfAD) e izquierdo (InfAI) y posterior derecho (InfPD) e izquierdo (InfPI), al igual que el conjunto total sin diferenciar lateralidad: miembro inferior anterior (InfA) y miembro inferior posterior (InfP).

**Tabla 38.-** Media, diferencias de medias, desviaciones típicas y valores de la prueba t-Student de las temperaturas medias registradas de todas las zonas corporales del miembro Inf, InfA y InfP en función de su lateralidad.

Zonas Corporales		X $\pm$ DE	Diferencia de X	t-Student		
			Media $\Delta T \pm DE$	t	gl	p valor
InfA	InfAD	32,19 $\pm$ 0,59	-0,03 $\pm$ 0,08	-1,467	20	0,158
	InfAI	32,22 $\pm$ 0,62				
InfP	InfPD	32,55 $\pm$ 0,75	0,04 $\pm$ 0,09	1,490	20	0,137
	InfPI	32,51 $\pm$ 0,75				
Inf	InfA	32,20 $\pm$ 0,60	<b>-0,33 <math>\pm</math> 0,20</b>	<b>-7,436</b>	<b>20</b>	<b>&lt;0,05*</b>
	InfP	32,53 $\pm$ 0,75				

Se observa que existe una diferencia entre medias no significativa ( $p=0,158$ ) de  $0,03\pm 0,08^{\circ}\text{C}$  a favor del miembro inferior anterior izquierdo con respecto del derecho, y una diferencia no significativa ( $p=0,137$ ) de  $0,04\pm 0,09^{\circ}\text{C}$  a favor del miembro inferior posterior derecho con respecto del izquierdo. Si comparáramos entre InfA e InfP podemos ver como la diferencia del promedio de temperaturas medias es mayor,  $0,33\pm 0,20^{\circ}\text{C}$ , significativamente superior ( $p<0,05$ ) para el miembro InfP.

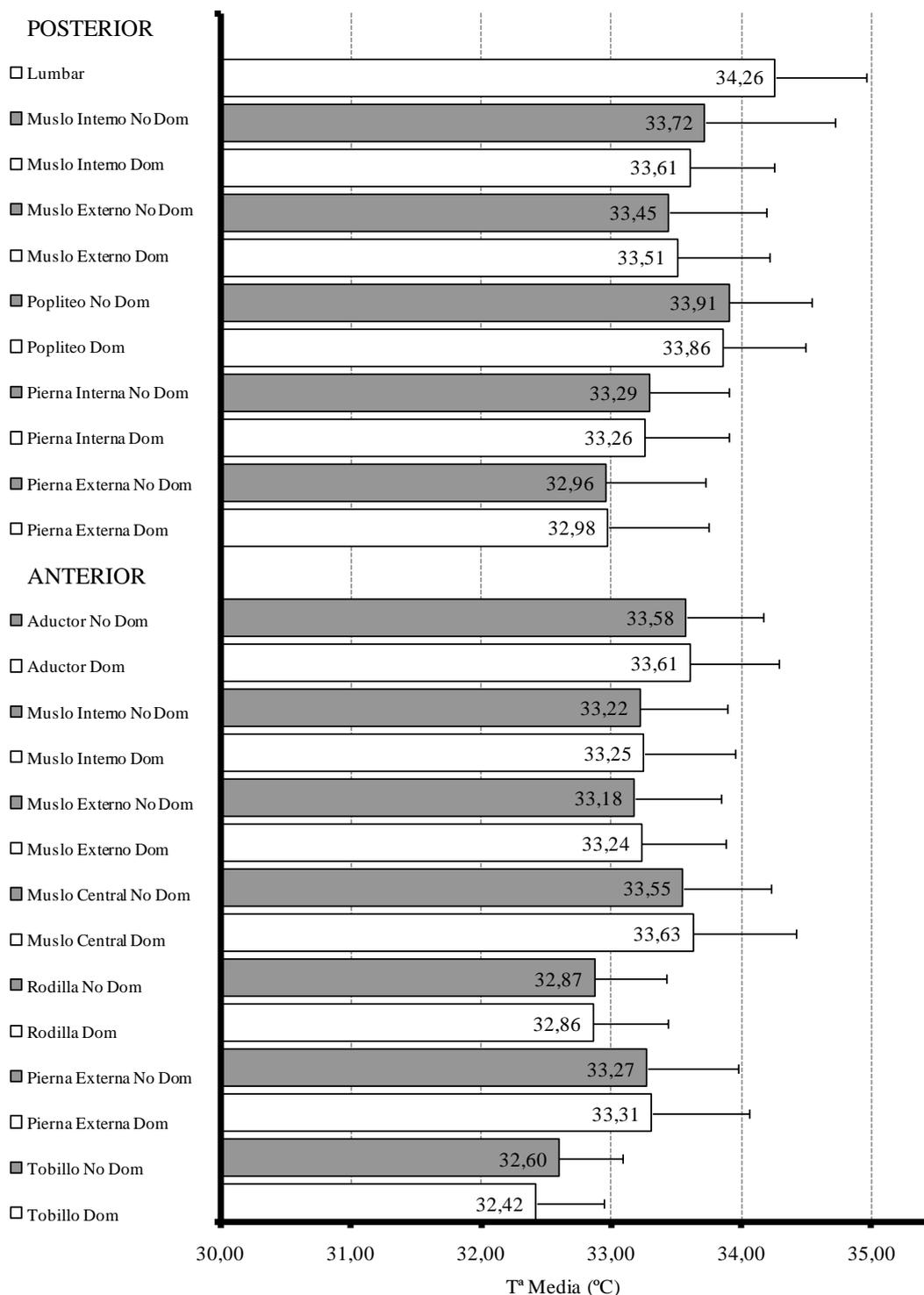
#### **4.4.1.2. Perfil térmico en función de la dominancia**

Una vez realizado el perfil térmico en función de la lateralidad pasamos a analizar el perfil térmico en función de la pierna dominante de los futbolistas. Veremos si existe una diferencia significativa entre las zonas corporales de la pierna dominante y no dominante de los sujetos. En el Anexo VII podemos ver un resumen de todos los datos utilizados en el análisis estadístico, resumidos y organizados por cada una de las diferentes temperaturas de sala registradas.

En la figura 23, se muestra el resultado conseguido del promedio con su desviación estandar de las temperaturas máximas de cada zona corporal. La zona corporal con un promedio de temperaturas máximas superior al resto es la lumbar ( $34,26\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ), seguida de las zonas poplíteas ( $33,88\pm 0,63^{\circ}\text{C}$ ), de los muslos posteriores internos ( $33,66\pm 0,74^{\circ}\text{C}$ ) y de los aductores ( $33,59\pm 0,64^{\circ}\text{C}$ ) respectivamente. En cambio, las zonas corporales con una estimación del promedio de temperaturas máximas inferiores al resto son los tobillos ( $32,51\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ) y las rodillas ( $32,87\pm 0,56^{\circ}\text{C}$ ).

Si analizamos las temperaturas de cada zona corporal teniendo en cuenta la dominancia, ver tabla 39, observamos cómo todas las zonas corporales mantienen un equilibrio o similitud térmica entre la zona corporal de la pierna dominante y no dominante, con diferencias no significativas que van desde  $0,01^{\circ}\text{C}$  en rodillas a  $0,10^{\circ}\text{C}$  en muslos internos posteriores. Los tobillos son la única excepción, al tener una diferencia significativa ( $p<0,05$ ) entre ellos de  $0,18^{\circ}\text{C}$ , bastante superior al resto de zonas.

## PERFIL TÉRMICO SEGÚN DOMINANCIAS (T<sup>a</sup> MÁXIMAS - SIN LESIONADOS)



**Figura 23.-** Perfil térmico de las T<sup>a</sup> máximas del miembro inferior de los jugadores en la pretemporada 2009 según dominancia y sin datos de lesionados.

**Tabla 39.-** Tabla de diferencia de medias y prueba t-Student de las temperaturas máximas para cada una de las zonas corporales estudiadas en función de su dominancia.

Zonas Corporales	Diferencia de Medias		t-Student muestras relacionadas		
	Media $\Delta T$	DE	t	gl	p valor
AduDO – AduND	0,03	0,17	0,827	20	0,418
RodDO – RodND	-0,01	0,14	-0,424	20	0,676
MusAcDO - MusAcND	0,08	0,19	1,882	20	0,074
TobDO – TobND	<b>-0,18</b>	<b>0,17</b>	<b>-4,787</b>	<b>20</b>	<b>&lt;0,05*</b>
PieAeDO – PieAeND	0,04	0,13	1,424	20	0,170
MusAeDO – MusAeND	0,07	0,14	1,980	20	0,062
MusAiDO – MusAiND	0,03	0,11	1,298	20	0,209
MusPeDO – MusPeND	0,07	0,15	1,867	20	0,065
MusPiDO – MusPiND	-0,10	0,31	-1,723	20	0,100
PiePeDO – PiePeND	0,02	0,11	0,652	20	0,522
PiePiDO – PiePiND	-0,04	0,09	-1,997	20	0,060
PopDO – PopND	-0,05	0,13	-1,643	20	0,112

En la tabla 40 se muestran las medias, diferencias de medias, desviaciones típicas y valores de la prueba t-Student para muestras relacionadas de las temperaturas máximas registradas del total de las zonas del miembro inferior anterior de la pierna dominante (InfADO) y no dominante (InfANO) y posterior dominante (InfPDO) y no dominante (InfPNO), al igual que su conjunto total sin diferenciar dominancias: miembro inferior anterior (InfA) y miembro inferior posterior (InfP).

**Tabla 40.-** Media, diferencias de medias, desviaciones típicas y valores de la prueba t-Student de las temperaturas máximas registradas de todas las zonas corporales del miembro Inf, InfA y InfP en función de la dominancia.

Zonas Corporales		X $\pm$ DE	Diferencia de X	t-Student		
			Media $\Delta T \pm$ DE	t	gl	p valor
InfA	InfADO	33,18 $\pm$ 0,64	<0,01 $\pm$ 0,07	-0,262	20	0,796
	InfANO	33,18 $\pm$ 0,60				
InfP	InfPDO	33,44 $\pm$ 0,68	-0,02 $\pm$ 0,06	-1,163	20	0,259
	InfPNO	33,46 $\pm$ 0,69				
Inf	InfA	33,18 $\pm$ 0,62	<b>-0,27 <math>\pm</math> 0,13</b>	<b>-9,396</b>	<b>20</b>	<b>&lt;0,05*</b>
	InfP	33,45 $\pm$ 0,69				

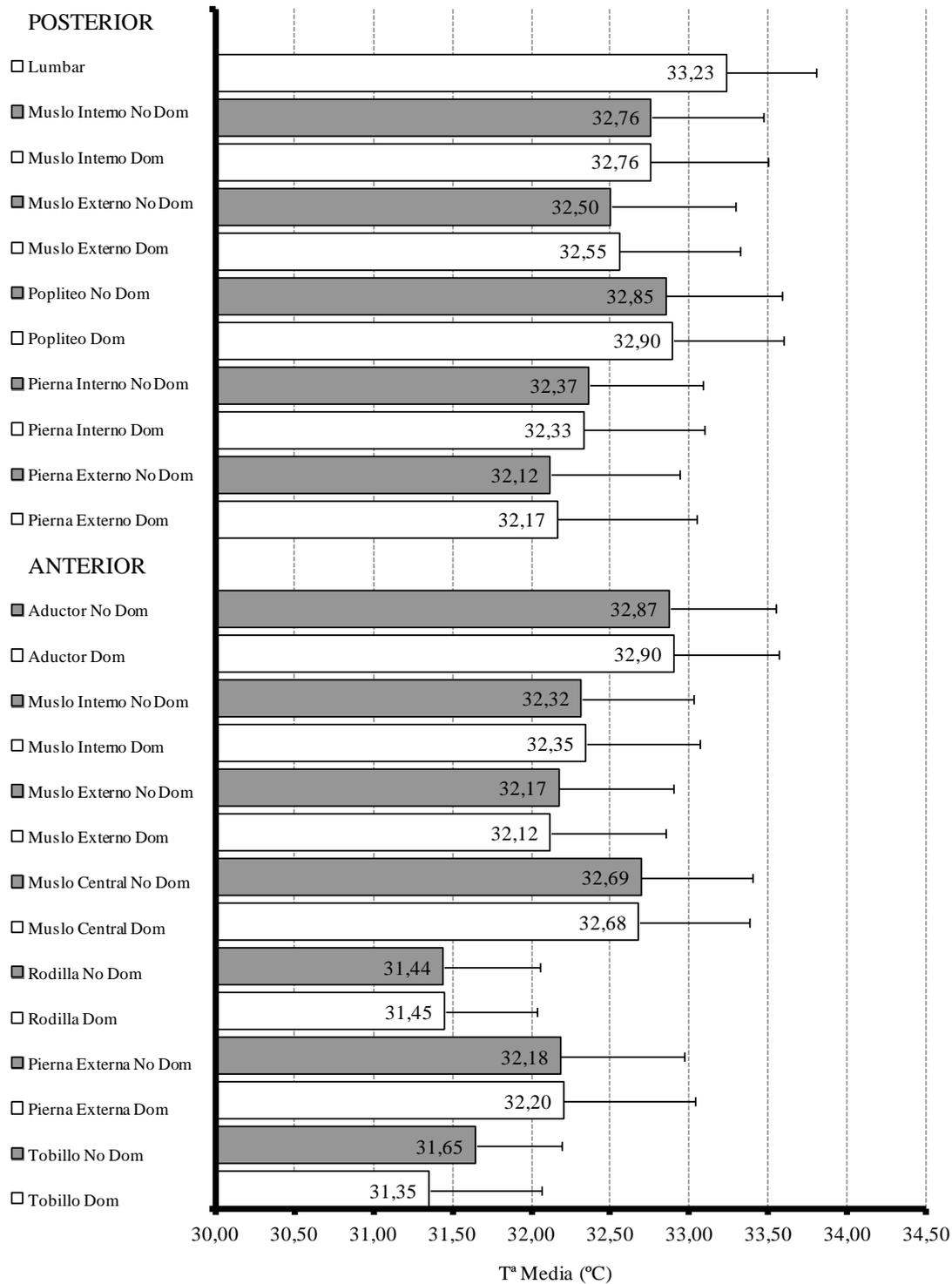
Se observa perfectamente el equilibrio térmico existente del miembro inferior en función de su dominancia ( $\Delta T_{\text{InfA}}=0,00\pm 0,07^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta T_{\text{InfP}}=0,02\pm 0,06^{\circ}\text{C}$ ), no existiendo diferencias significativas ni en su vista anterior ni posterior. No pasa lo mismo cuando diferenciamos el miembro inferior anterior con el posterior ( $\Delta T_{\text{Inf}}=0,27\pm 0,13^{\circ}\text{C}$ ), existiendo diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre ambas partes corporales.

Por último, en la figura 24 se muestra el perfil térmico del miembro inferior de los jugadores en función de su dominancia pero con el promedio de las temperaturas medias registradas en cada zona corporal.

Al igual que sucedía con las temperaturas máximas, la zona corporal con una media de temperaturas medias superior al resto es la lumbar ( $33,23\pm 0,57^{\circ}\text{C}$ ), seguida de la zona de aductores ( $32,89\pm 0,67^{\circ}\text{C}$ ), de poplíteos ( $32,87\pm 0,71^{\circ}\text{C}$ ) y de los muslos posteriores internos ( $32,76\pm 0,72^{\circ}\text{C}$ ) respectivamente. En cambio, las zonas corporales con un promedio de temperaturas medias inferiores al resto son las rodillas ( $31,45\pm 0,60^{\circ}\text{C}$ ) y los tobillos ( $31,47\pm 0,62^{\circ}\text{C}$ ).

Si analizamos las temperaturas de cada zona corporal teniendo en cuenta la dominancia de los jugadores, ver tabla 41, observamos como todas las zonas corporales mantienen un equilibrio o similitud térmica entre las zonas corporales de la pierna dominante y no dominante, con diferencias no significativas que van desde  $0,01^{\circ}\text{C}$  a  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Los tobillos son la única excepción, al tener una diferencia significativa ( $p<0,05$ ) entre ellos de  $0,30^{\circ}\text{C}$ , bastante superior al resto de zonas.

## PERFIL TÉRMICO SEGÚN DOMINANCIAS (Tª MEDIAS - SIN LESIONADOS)



**Figura 24.-** Perfil térmico de las Tª medias del miembro inferior de los jugadores en la pretemporada 2009 según dominancia y sin datos de lesionados.

**Tabla 41.-** Tabla de diferencia de medias y prueba t-Student de los promedios de temperaturas medias para cada una de las zonas corporales estudiadas en función de la dominancia.

Zonas Corporales	Diferencia de Medias		t-Student muestras relacionadas		
	Media $\Delta T$	DE	t	gl	p valor
AduDO – AduND	0,03	0,10	1,796	20	0,093
RodDO – RodND	0,01	0,18	0,247	20	0,808
MusAcDO – MusAcND	-0,01	0,11	-0,593	20	0,560
TobDO – TobND	<b>-0,30</b>	<b>0,48</b>	<b>-2,745</b>	<b>20</b>	<b>&lt;0,05*</b>
PieAeDO – PieAeND	0,02	0,15	0,566	20	0,577
MusAeDO – MusAeND	-0,05	0,12	-1,967	20	0,063
MusAiDO – MusAiND	0,03	0,10	1,332	20	0,198
MusPeDO – MusPeND	0,05	0,13	1,713	20	0,115
MusPiDO – MusPiND	0,00	0,11	-0,204	20	0,840
PiePeDO – PiePeND	0,05	0,16	1,296	20	0,210
PiePiDO – PiePiND	-0,04	0,15	-0,519	20	0,538
PopDO – PopND	0,04	0,09	1,922	20	0,085

En la tabla 42 se muestran las medias, diferencias de medias, desviaciones típicas y valores de la prueba t-Student para muestras relacionadas de las temperaturas medias registradas del total de las zonas del miembro inferior anterior dominante (InfADO) y no dominante (InfAND) y posterior dominante (InfPDO) y no dominante (InfPND), al igual que el conjunto total sin diferenciar dominancias: miembro inferior anterior (InfA) y miembro inferior posterior (InfP).

**Tabla 42.-** Media, diferencias de medias, desviaciones típicas y valores de la prueba t-Student de las temperaturas medias registradas de todas las zonas corporales del miembro Inf, InfA y InfP en función de su dominancia.

Zonas Corporales		X $\pm$ DE	Diferencia de X	t-Student		
			Media $\Delta T \pm$ DE	t	gl	p valor
InfA	InfADO	32,12 $\pm$ 0,70	-0,04 $\pm$ 0,09	-1,543	20	0,147
	InfANO	32,16 $\pm$ 0,68				
InfP	InfPDO	32,54 $\pm$ 0,77	0,05 $\pm$ 0,10	1,502	20	0,126
	InfPNO	32,49 $\pm$ 0,78				
Inf	InfA	32,12 $\pm$ 0,68	<b>-0,39 <math>\pm</math> 0,16</b>	<b>-11,161</b>	<b>20</b>	<b>&lt;0,05*</b>
	InfP	32,51 $\pm$ 0,77				

Se observa que existe una diferencia entre medias no significativa ( $p=0,147$ ) de  $0,04\pm 0,09^{\circ}\text{C}$  a favor del miembro inferior anterior no dominante con respecto del dominante, y una diferencia no significativa ( $p=0,126$ ) de  $0,05\pm 0,10^{\circ}\text{C}$  a favor del miembro inferior posterior dominante con respecto del no dominante. Si comparáramos entre InfA e InfP podemos ver como la diferencia del promedio de temperaturas medias es mayor,  $0,39\pm 0,16^{\circ}\text{C}$ , significativamente superior ( $p<0,05$ ) para el miembro InfP.

#### **4.4.2. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DE LA SALA DE EVALUACIÓN SOBRE LA TEMPERATURA REGISTRADA POR LA CÁMARA TERMOGRÁFICA**

Durante los 38 días que duró la toma de datos del estudio en la pretemporada 2009 se realizaron un total de 31 evaluaciones termográficas a los jugadores. El resto de los 7 días que faltan corresponden a días de vacaciones de los jugadores y otros asuntos externos donde no se realizaron fotografías.

De 31 tomas termográficas que se realizaron en 2009, en 10 tomas coincidieron dos veces la misma temperatura de la sala y en 11 tomas no (ver tabla 43). Por lo tanto, tenemos un total de 21 registros de temperaturas corporales con diferentes temperaturas de sala que van desde los  $18,0^{\circ}\text{C}$  el más inferior a  $31,8^{\circ}\text{C}$  el más superior, para una información más detallada consultar Anexo VI y VII.

En primer lugar, para analizar la influencia de las condiciones de temperatura ambiente en los resultados termográficos obtenidos, dividimos los datos recopilados durante la pretemporada 2009 en tres grupos: el primero de  $18,0^{\circ}$  a  $21,0^{\circ}\text{C}$ , el segundo grupo de  $22,0^{\circ}$  a  $24,0^{\circ}\text{C}$  y el tercer grupo de  $25,0^{\circ}$  a  $31,0^{\circ}\text{C}$ . De esta forma realizamos un ANOVA de un factor para concluir si las evaluaciones termográficas realizadas en los distintos bloques de temperatura de la sala obtienen una media diferente en la temperatura registrada por la cámara en cada una de las zonas corporales (ver tabla 44 y Anexo VIII). Además, para identificar los rangos de temperaturas entre los que existían diferencias significativas, se utilizó el contraste de comparaciones múltiples post hoc HSD de Tukey. Los resultados para las grandes zonas corporales se muestran en la tabla 44.

**Tabla 43.-** Temperatura, Humedad y presión atmosférica de la sala de evaluación en las 31 tomas realizadas en el estudio durante la pretemporada 2009.

<b>N° de Tomas</b>	<b>Temperatura (T<sub>s</sub>) - °C</b>	<b>Humedad (H<sub>s</sub>) - %</b>	<b>Presión (P<sub>s</sub>) - mb</b>
1	18,0	28	919
2	18,6	40	919
3	19,2	31	924
4	19,2	33	926
5	19,7	38	921
6	19,7	36	920
7	19,8	36	919
8	19,8	37	921
9	20,7	30	924
10	20,7	32	926
11	21,0	43	913
12	21,0	43	912
13	22,4	47	1036
14	22,4	45	1034
15	22,6	46	1034
16	22,6	47	1035
17	22,7	55	1034
18	22,7	55	1033
19	23,0	55	1033
20	23,0	53	1035
21	23,4	45	973
22	23,4	43	971
23	24,0	40	974
24	25,0	32	980
25	25,2	43	985
26	25,4	39	982
27	26,0	24	979
28	26,5	29	983
29	26,8	51	996
30	27,5	45	995
31	31,8	38	994
<b>Media±DE</b>	<b>22,70 ± 3,07</b>	<b>40,61 ± 8,42</b>	<b>971,17 ± 47,27</b>

En la tabla 44, observamos cómo los resultados del ANOVA de un factor nos indican que existen diferencias de medias entre los tres grupos. Además, los resultados de la prueba HSD de Tukey nos indican que existen diferencias entre cada uno de los grupos en todas las grandes zonas corporales estudiadas.

**Tabla 44.-** Resultados del ANOVA de un factor entre los tres grupos de temperatura de la sala y las temperaturas máximas y medias registradas en diferentes zonas corporales. (Nota: En la columna de Analisis post hoc (Q) las letras del exponente indican los grupos con diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), donde “a” representa que existe diferencias significativas entre el grupo 1-2 o 3-1, y donde “b” representa que existe diferencias significativas entre el grupo 1-3 o 2-3).

Zona	Q	N	Temperaturas Máximas					Temperaturas Médias				
			Descriptivos		ANOVA			Descriptivos		ANOVA		
			Media	DE	gl	F	P	Media	DE	gl	F	P
InfAD	1 <sup>ab</sup>	200	32,48	0,60	2	126,882	<0,05	31,54	0,65	2	103,166	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,07	0,53				32,11	0,52			
	3 <sup>ab</sup>	207	33,86	0,72				32,79	0,69			
	Total	607	33,15	0,84				32,16	0,81			
InfAI	1 <sup>ab</sup>	200	32,53	0,58	2	121,793	<0,05	31,52	0,57	2	130,540	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,07	0,51				32,12	0,50			
	3 <sup>ab</sup>	207	33,81	0,67				32,86	0,70			
	Total	607	33,15	0,80				32,18	0,81			
InfA	1 <sup>ab</sup>	200	32,50	0,59	2	127,327	<0,05	31,53	0,59	2	120,668	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,07	0,52				32,11	0,50			
	3 <sup>ab</sup>	207	33,84	0,69				32,82	0,68			
	Total	607	33,15	0,82				32,17	0,80			
InfPD	1 <sup>ab</sup>	200	32,74	0,55	2	174,675	<0,05	31,76	0,59	2	187,700	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,24	0,48				32,36	0,53			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,20	0,65				33,38	0,69			
	Total	607	33,41	0,83				32,52	0,91			
InfPI	1 <sup>ab</sup>	200	32,76	0,54	2	169,868	<0,05	31,74	0,56	2	187,684	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,24	0,47				32,29	0,55			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,22	0,70				33,34	0,69			
	Total	607	33,42	0,85				32,47	0,90			
InfP	1 <sup>ab</sup>	200	32,75	0,54	2	177,663	<0,05	31,75	0,57	2	63,822	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,24	0,47				32,32	0,53			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,21	0,67				33,36	0,68			
	Total	607	33,42	0,83				32,50	0,90			

Si entramos en más detalle, (ver Anexo VIII) vemos que estas diferencias se repiten en todas las zonas corporales registradas en el estudio exceptuando en los tobillos, donde no existen diferencias significativas únicamente entre el grupo 2 y 3 de

las temperaturas máximas del tobillo derecho ( $p=0,098$ ) e izquierdo ( $p=0,076$ ) y de las temperaturas medias del tobillo derecho ( $p=0,659$ ) e izquierdo ( $p=0,268$ ).

En segundo lugar, realizamos una correlación de Pearson bivariada entre los tres parámetros ambientales registrados: temperatura, humedad y presión atmosférica de la sala de evaluación, para cuantificar el grado de relación existente entre dichas variables. Además, de esta forma podemos acercarnos a representar el grado de ganancia que podemos obtener al predecir una variable basándonos en el conocimiento que tenemos de las otras.

**Tabla 45.-** Coeficiente de correlación entre las variables de temperatura, humedad y presión atmosférica (\*\*  $p < 0,01$ ).

	<b>Coeficiente de Correlación</b>
T <sub>s</sub> - P <sub>s</sub>	0,56**
T <sub>s</sub> - H <sub>s</sub>	0,12
H <sub>s</sub> - P <sub>s</sub>	0,59**

Como se puede observar en la tabla 45, existe una relación significativa entre la temperatura de la sala y la presión atmosférica, y entre la presión atmosférica y la humedad de la sala. Sin embargo, no existe relación significativa entre humedad y temperatura de la sala dentro de los rangos de humedad registrados (entre el 28% y el 55% de humedad).

Para cuantificar qué parámetro ambiental influye más sobre la temperatura registrada en cada una de las zonas corporales, en función de la lateralidad, utilizamos también la prueba de correlación bivariada de Pearson entre los valores de las diferentes zonas corporales y la temperatura ambiente, la humedad de la sala y la presión atmosférica. Los resultados se muestran en la tabla 46. En ella se observa que el factor ambiental que mayor relación y, por lo tanto, mayor influencia tiene sobre la temperatura corporal registrada por la cámara termográfica es la temperatura de la sala ( $r_{InfP}=0,96$ ;  $p<0,01$ ;  $r_{InfA}=0,96$ ;  $p<0,01$ ), siendo su relación lineal y directa. El siguiente factor ambiental que posee relación significativa con la temperatura corporal es la presión atmosférica ( $r_{InfP}=0,49$ ;  $p<0,05$ ;  $r_{InfA}=0,54$ ;  $p<0,05$ ), reduciéndose sus valores de relación en casi la mitad si lo comparamos con los valores de la temperatura de la sala.

Por último, destacar que la humedad no posee ninguna relación significativa con la temperatura de las zonas corporales (Valores máximos:  $r_{\text{InfP}}=-0,02$ ;  $p=0,908$ ;  $r_{\text{InfA}}=0,05$ ;  $p=0,847$ . Valores medios:  $r_{\text{InfP}}=-0,01$ ;  $p=0,954$ ;  $r_{\text{InfA}}=0,04$ ;  $p=0,867$ ) en el rango de valores estudiados (28 – 55%).

**Tabla 46.-** Coeficiente de correlación bivariado entre las variables atmosféricas y las temperaturas registradas de las zonas corporales según lateralidad (\*\*  $p<0,01$ ; \*  $p<0,05$ ).

Zona Corporal	Coeficiente de Correlación según Lateralidad					
	Tª Máximas			Tª Medias		
	r <sub>TEMPERATURA</sub>	r <sub>HUMEDAD</sub>	r <sub>PRESIÓN</sub>	r <sub>TEMPERATURA</sub>	r <sub>HUMEDAD</sub>	r <sub>PRESIÓN</sub>
<i>AduD</i>	0,94**	-0,01	0,46*	0,95**	0,03	0,56*
<i>AduI</i>	0,94**	-0,03	0,51*	0,94**	0,01	0,55*
<i>RodD</i>	0,91**	0,06	0,57**	0,89**	0,12	0,66**
<i>RodI</i>	0,91**	-0,01	0,51*	0,87**	0,00	0,59**
<i>MusAcD</i>	0,95**	0,06	0,49*	0,95**	0,12	0,60**
<i>MusAcI</i>	0,95**	0,00	0,51*	0,94**	0,03	0,56*
<i>TobD</i>	0,81**	0,40	0,64**	0,54*	0,20	0,60**
<i>TobI</i>	0,83**	0,41	0,69**	0,83**	0,41	0,78**
<i>PieAeD</i>	0,95**	-0,04	0,45*	0,95**	0,02	0,53*
<i>PieAeI</i>	0,95**	-0,01	0,48*	0,96**	0,04	0,59**
<i>MusAeD</i>	0,95**	0,05	0,53*	0,95**	0,01	0,55*
<i>MusAeI</i>	0,96**	0,05	0,55*	0,95**	0,03	0,58**
<i>MusAiD</i>	0,95**	-0,03	0,47*	0,94**	0,02	0,56*
<i>MusAiI</i>	0,94**	-0,04	0,49*	0,94**	-0,04	0,49*
<i>MusPeD</i>	0,96**	-0,02	0,48*	0,96**	0,01	0,53*
<i>MusPeI</i>	0,96**	-0,04	0,46*	0,95**	0,01	0,50*
<i>MusPiD</i>	0,95**	-0,03	0,48*	0,96**	-0,02	0,50*
<i>MusPiI</i>	0,92**	-0,05	0,40*	0,95**	0,01	0,50*
<i>PiePeD</i>	0,96**	-0,02	0,51*	0,97**	0,04	0,57**
<i>PiePeI</i>	0,95**	-0,06	0,46*	0,94**	-0,06	0,47*
<i>PiePiD</i>	0,95**	-0,01	0,53*	0,96**	0,02	0,56
<i>PiePeI</i>	0,95**	0,02	0,56**	0,95**	0,04	0,57**
<i>Lum</i>	0,91**	-0,05	0,46*	0,88**	-0,02	0,50*
<i>PopD</i>	0,96**	-0,04	0,49*	0,96**	-0,03	0,50*
<i>PopI</i>	0,96**	-0,03	0,50*	0,96**	0,00	0,51*
<i>InfAD</i>	0,97**	0,06	0,53*	0,94**	0,03	0,56*
<i>InfAI</i>	0,96**	0,04	0,55*	0,95**	0,05	0,57**
<i>InfA</i>	0,96**	0,05	0,54*	0,95**	0,04	0,57**
<i>InfPD</i>	0,96**	-0,02	0,50*	0,96**	-0,01	0,52*
<i>InfPI</i>	0,96**	-0,03	0,49*	0,95**	-0,01	0,52*
<i>InfP</i>	0,96**	-0,02	0,49*	0,96**	-0,01	0,52*

Tras comprobar que el factor ambiental con mayor influencia sobre la temperatura corporal registrada es la temperatura de la sala y ver que la relación entre la presión atmosférica es directa respecto a la temperatura ambiente, pasaremos a analizar de forma más detallada la relación existente entre la temperatura registrada y la temperatura ambiente, y utilizaremos únicamente la temperatura ambiente para profundizar en la influencia de las condiciones ambientales en las mediciones termográficas.

Realizaremos un análisis estadístico de regresión lineal simple entre la temperatura ambiente de la sala donde se efectuaron las tomas y las correspondientes temperaturas registradas en cada una de las zonas corporales. El resultado es una recta de regresión expresada en un coeficiente  $B_1$ , que es la pendiente de la recta e indica el cambio medio que corresponde a la variable dependiente ( $T^a$  de la zonas corporales) por cada unidad de cambio de la variable independiente ( $T^a$  de la sala), y el coeficiente  $B_0$ , que es el punto en el que la recta corta el eje vertical, es decir, es el origen de la recta.

En la tabla 47, podemos ver, además de los resultados de la regresión lineal simple de las temperaturas ambientales y las temperaturas registradas en cada una de las zonas estudiadas, los Coeficientes de Determinación ( $R^2$ ), **que corresponden al cuadrado del coeficiente de correlación**, y que nos indican el grado en el que la recta de regresión se ajusta a la nube de puntos.

Los resultados de la tabla 47 nos vuelven a indicar que existe una relación directa significativa entre todas las variables de  $T^a$  registrada por TI de las diferentes zonas corporales ( $T_C$ ) y la temperatura de la sala ( $T_S$ ), tanto en los valores máximos como medios. Resaltar que los valores más bajos de bondad de ajuste ( $R^2$ ) son en tobillos y rodillas.

**Tabla 47.-** Resultados del análisis de regresión lineal de las variables T<sup>a</sup> sala y T<sup>a</sup> de las zonas corporales según lateralidad.

Zona Corporal	Resultados según lateralidad							
	T <sup>a</sup> Máximas				T <sup>a</sup> Medias			
	R <sup>2</sup>	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	Error Típ	R <sup>2</sup>	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	Error Típ
<i>AduD</i>	0,89	29,15	0,19	0,240	0,90	28,48	0,19	0,225
<i>Adul</i>	0,88	29,75	0,16	0,216	0,89	28,50	0,19	0,233
<i>RodD</i>	0,82	29,19	0,16	0,258	0,80	27,81	0,16	0,277
<i>RodI</i>	0,82	29,49	0,15	0,236	0,75	27,80	0,16	0,316
<i>MusAcD</i>	0,91	28,33	0,23	0,255	0,90	27,97	0,20	0,240
<i>MusAcI</i>	0,90	29,16	0,19	0,222	0,89	28,12	0,20	0,247
<i>TobD</i>	0,66	29,46	0,13	0,323	0,30	28,48	0,12	0,632
<i>TobI</i>	0,69	29,82	0,12	0,280	0,68	28,55	0,13	0,311
<i>PieAeD</i>	0,91	28,23	0,22	0,239	0,91	26,69	0,24	0,267
<i>PieAeI</i>	0,91	28,78	0,19	0,221	0,93	27,01	0,22	0,223
<i>MusAeD</i>	0,91	28,98	0,18	0,202	0,91	27,18	0,21	0,234
<i>MusAeI</i>	0,92	28,80	0,19	0,196	0,90	27,40	0,21	0,239
<i>MusAiD</i>	0,89	28,67	0,20	0,241	0,89	27,57	0,21	0,257
<i>MusAiI</i>	0,88	28,80	0,19	0,248	0,88	27,74	0,20	0,257
<i>MusPeD</i>	0,92	28,87	0,20	0,206	0,92	27,38	0,22	0,227
<i>MusPeI</i>	0,91	28,49	0,21	0,232	0,91	27,26	0,22	0,255
<i>MusPiD</i>	0,91	29,30	0,18	0,207	0,91	27,81	0,21	0,233
<i>MusPiI</i>	0,85	28,41	0,23	0,342	0,90	28,15	0,20	0,231
<i>PiePeD</i>	0,92	27,81	0,22	0,238	0,94	26,27	0,25	0,233
<i>PiePeI</i>	0,91	27,99	0,21	0,234	0,89	26,83	0,23	0,281
<i>PiePiD</i>	0,90	28,96	0,18	0,213	0,91	27,37	0,21	0,229
<i>PiePeI</i>	0,90	29,30	0,17	0,202	0,91	27,53	0,21	0,233
<i>Lum</i>	0,83	31,12	0,13	0,217	0,77	29,76	0,15	0,285
<i>PopD</i>	0,93	29,60	0,18	0,180	0,92	28,27	0,20	0,207
<i>PopI</i>	0,92	29,71	0,18	0,180	0,91	27,99	0,21	0,225
<i>InfAD</i>	0,94	28,88	0,18	0,169	0,88	28,38	0,16	0,214
<i>InfAI</i>	0,92	29,23	0,17	0,179	0,90	28,13	0,18	0,203
<i>InfA</i>	0,93	29,05	0,18	0,171	0,89	28,25	0,17	0,205
<i>InfPD</i>	0,92	28,92	0,19	0,199	0,92	27,55	0,21	0,222
<i>InfPI</i>	0,92	28,84	0,20	0,204	0,91	27,55	0,21	0,240
<i>InfP</i>	0,92	28,88	0,20	0,200	0,92	27,55	0,21	0,230

De los resultados de las distintas zonas corporales, se puede establecer la siguiente ecuación de regresión general para todas las zonas corporales:

$$T_C = B_{1promedio} T_S + B_{0promedio} \quad [17]$$

donde  $B_{1promedio}$  (pendiente de la recta) y  $B_{0promedio}$  (constante) procede del cálculo de la media de las pendientes y constantes de regresión de todas las zonas del cuerpo. Dicha ecuación sería diferente en función de si pretendemos conocer la influencia de la  $T_S$  en la  $T^a$  máxima o la  $T^a$  media de todo el tren inferior ó excluyendo las zonas más “atípicas” en nuestro estudio, como son los tobillos y la zona lumbar, ver tabla 48.

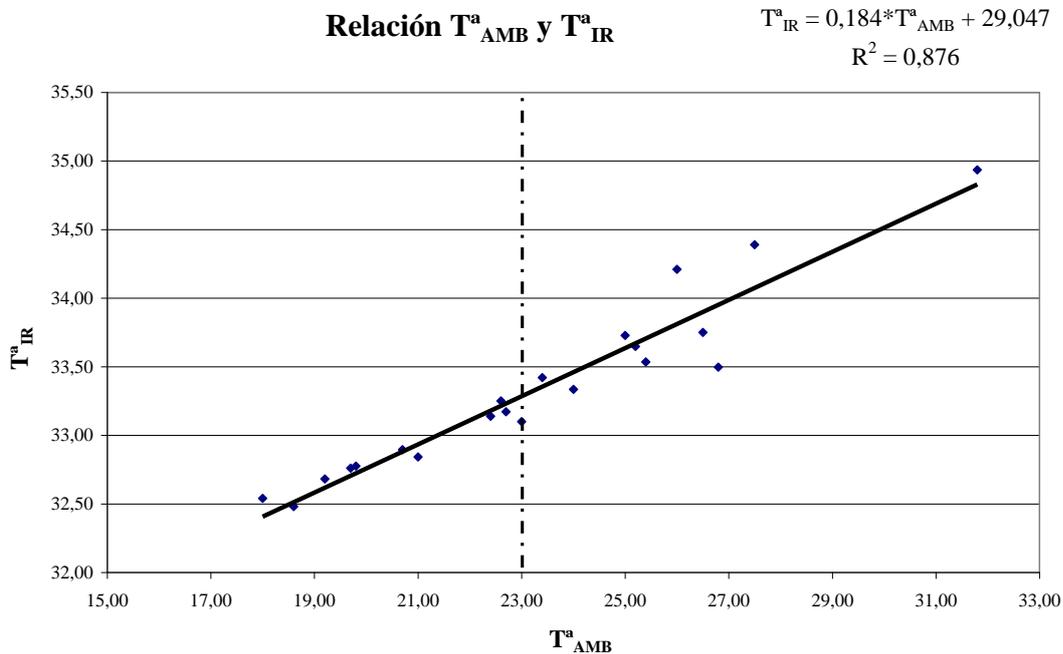
**Tabla 48.-** Ecuaciones para conocer la influencia de la  $T_S$  en la  $T^a$  máxima o la  $T^a$  media de todo el tren inferior o excluyendo las zonas de tobillos y de la zona lumbar.

Para temperaturas máximas del miembro inferior ( $R^2 = 0,876$ / Error Típ.= 0,185)	$T_C = 0,184 * T_S + 29,047$
Para temperaturas medias del miembro inferior ( $R^2 = 0,857$ / Error Típ.= 0,213)	$T_C = 0,198 * T_S + 27,757$
Para temperaturas máximas del miembro inferior sin tobillos ni lumbar ( $R^2 = 0,896$ / Error Típ.= 0,169).	$T_C = 0,191 * T_S + 28,899$
Para temperaturas medias del miembro inferior sin tobillos ni lumbar ( $R^2 = 0,894$ / Error Típ. = 0,198).	$T_C = 0,207 T_S + 27,597$

Vamos a utilizar la fórmula de regresión expresada en la tabla 48 para valores máximos de todas las zonas corporales ( $T_C = 0,184 * T_S + 29,047$ ) con el fin de ilustrar cómo se podrían utilizar estas fórmulas para normalizar las temperaturas a 21°C y neutralizar los efectos de la temperatura ambiente en los registros termográficos. Por supuesto, este desarrollo teórico es una propuesta que se debería reproducir con datos más fiables procedentes de un estudio específico con un mismo grupo de sujetos en condiciones completamente controladas.

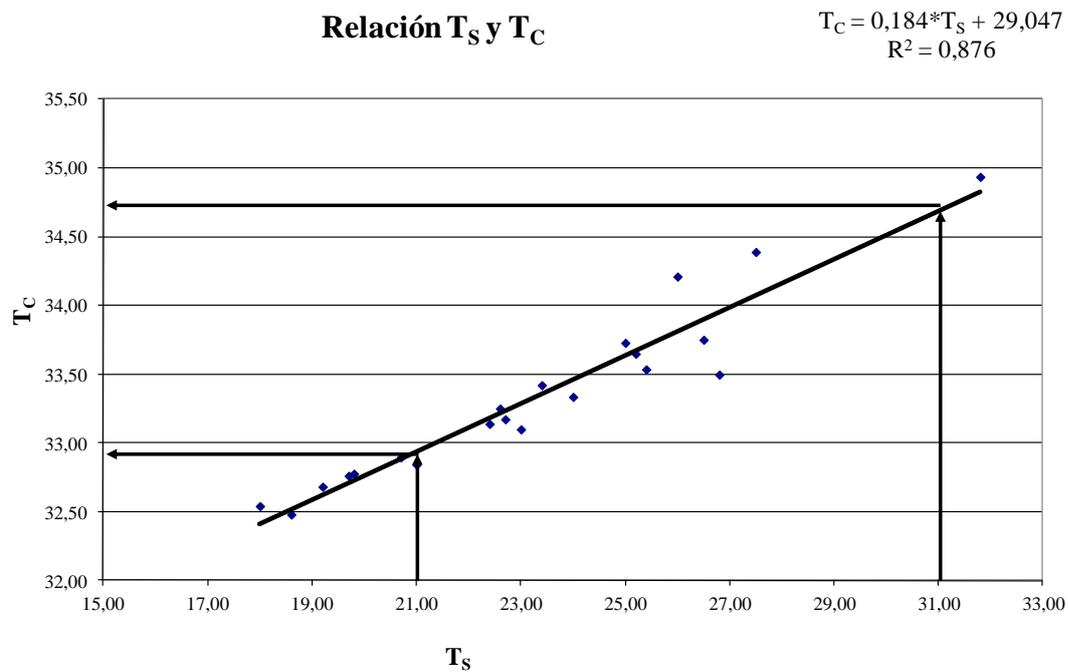
La fórmula que hemos calculado por regresión lineal demuestra que la influencia de la temperatura de sala ( $T_S$ ) sobre la temperatura registrada por termografía infrarroja ( $T_C$ ) es lineal y directa (Figura 25). Si dividimos los resultados en dos partes, los valores mayores y menores de 23,0°C, vemos como para valores inferiores de 23°C la ecuación

tiene una correlación mas elevada ( $r_{<23}=0,95$ ) que para valores superiores a  $23^{\circ}\text{C}$  ( $r_{>23}=0,86$ ).



**Figura 25.-** Correlación entre la Temperatura ambiente y la Temperatura registrada.

Así la temperatura registrada a temperatura en sala de  $31^{\circ}\text{C}$  (Figura 26) sería:



**Figura 26.-** Estimación de la temperatura estándar en la muestra de nuestro estudio.

$$T_C = (0,184 * T_S) + 29,047 = 34,7^{\circ}\text{C} \quad [18]$$

Las flechas continuas representan los valores teóricos de temperatura corporal registrados por TI ( $T_{C\text{-teórica}}=34,7^{\circ}\text{C}$ ) para un jugador de fútbol en una determinada temperatura ambiente ( $T_S=31^{\circ}\text{C}$ ). Este valor correspondería a una  $T_{C\text{-estándar}}=32,9^{\circ}\text{C}$ , si la toma se hubiera registrado a  $T_{S\text{-estándar}}=21^{\circ}\text{C}$ . Como vemos, un descenso de temperatura ambiente de  $10^{\circ}\text{C}$  se corresponde con una variación de  $1,8^{\circ}\text{C}$  de temperatura en la superficie corporal del jugador, que en la Figura 27 se puede ver como una llave.

El incremento o variación de temperatura será, por tanto,

$$\Delta T_{C\text{-teórica}} = T_{C\text{-teórica}} - T_{C\text{-estándar}} \quad [19]$$

donde las “ $T_C$ ” se calculan por medio de nuestra fórmula (18):

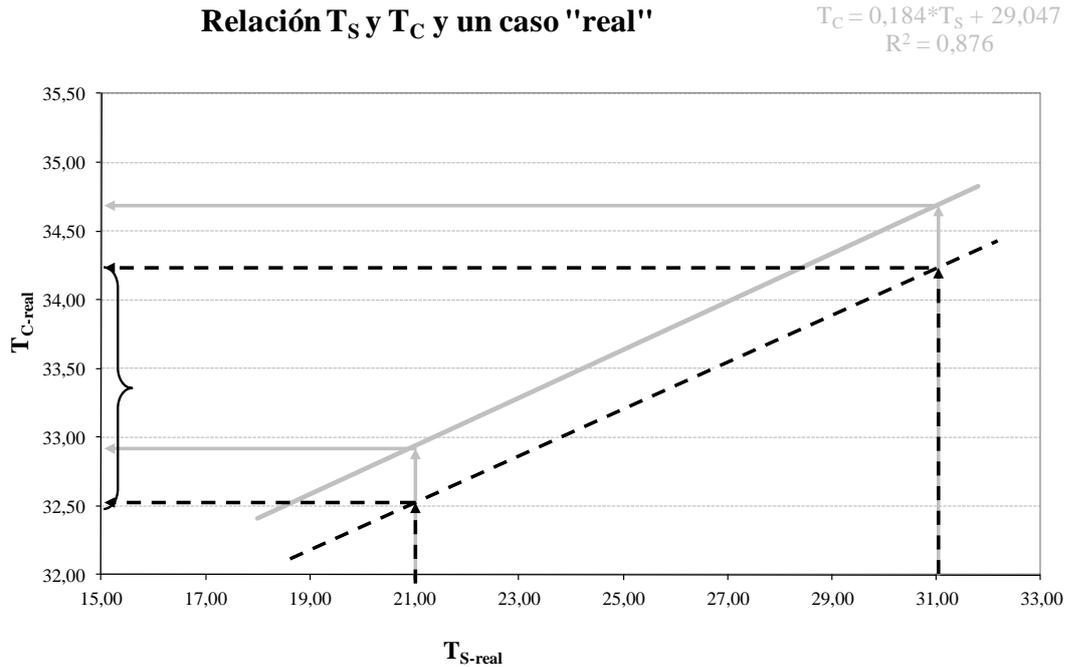
$$T_{C\text{-teórica}} = (0,184 * 31^{\circ}\text{C}) + 29,047 = 34,7^{\circ}\text{C}$$

$$T_{C\text{-estándar}} = (0,184 * 21^{\circ}\text{C}) + 29,047 = 33,1^{\circ}\text{C}$$

Por lo tanto, la fórmula 19 queda como:

$$\Delta T_{C\text{-teórica}} = 34,9 - 33,1 = 1,8^{\circ}\text{C}$$

Pero las temperaturas registradas en situaciones reales no tienen porqué corresponder con los registros de temperaturas obtenidos en nuestro estudio. Sin embargo, sí que se deben mantener las líneas de tendencia de variación de la temperatura registrada en función de la temperatura ambiente. Las flechas y líneas intermitentes de la figura 27 corresponden a la estimación de la temperatura de la sala estándar a  $21^{\circ}\text{C}$  de una toma de datos real en una zona determinada. Vamos a ver como se haría.



**Figura 27.-** Estimación de la temperatura estándar en la muestra real (líneas discontinuas), manteniendo los datos de nuestro estudio de fondo en tonos grises.

Imaginemos que mediante una termografía infrarroja realizada a una  $T_{S-real}=31^{\circ}\text{C}$  se obtiene una  $T_{C-real}=34,35^{\circ}\text{C}$  en una zona determinada de un sujeto. Si se considera que se mantendrá para esta medición la misma tendencia lineal de variación de la  $T_{C-real}$  según varía la  $T_S$  (línea discontinua), se podrá estimar que a  $T_{S-estandar}$  de  $21^{\circ}\text{C}$ , la  $T_{C-estandar}$  de la zona sería de  $32,55^{\circ}\text{C}$ .

Como vemos, el incremento o variación de temperatura registrada por TI ( $\Delta T_C$ ) se mantiene entre las situaciones teóricas y las reales (aplicando la fórmula 19), siendo igual a  $1,8^{\circ}\text{C}$ :

$$\Delta T_{C-real} = T_{C-real} - T_{C-estandar} \quad [20]$$

$$\Delta T_{C-real} = 34,35^{\circ}\text{C} - 32,55^{\circ}\text{C} = 1,8^{\circ}\text{C}$$

Partiendo de la fórmula 19, se puede considerar  $T_{C-estandar}$  como:

$$T_{C-estandar} = T_{C-real} - \Delta T_{C-real} \quad [21]$$

Desarrollando la fórmula 19 con la fórmula 18:

$$\Delta T_{C\text{-teórica}} = T_{C\text{-teórica}} - T_{C\text{-estándar}}$$

$$\Delta T_{C\text{-teórica}} = [(0,184 * T_S) + 29,047] - [(0,184 * T_{S\text{-estándar}}) + 29,047]$$

$$\Delta T_{C\text{-teórica}} = (0,184 * T_S) - (0,184 * T_{S\text{-estándar}})$$

$$\Delta T_{C\text{-teórica}} = 0,184 * (T_S - T_{S\text{-estándar}}) \quad [22]$$

Como vimos que se puede considerar que  $\Delta T_{C\text{-real}} = \Delta T_{C\text{-teórica}}$  y combinando la fórmula 20 y 22, finalmente tenemos que,

$$0,184 * (T_S - T_{S\text{-estándar}}) = T_{C\text{-real}} - T_{C\text{-estándar}}$$

y, por lo tanto, finalmente tenemos que,

$$T_{C\text{-estándar}} = T_{C\text{-real}} - [0,184 * (T_S - 21^\circ\text{C})] \quad [23]$$

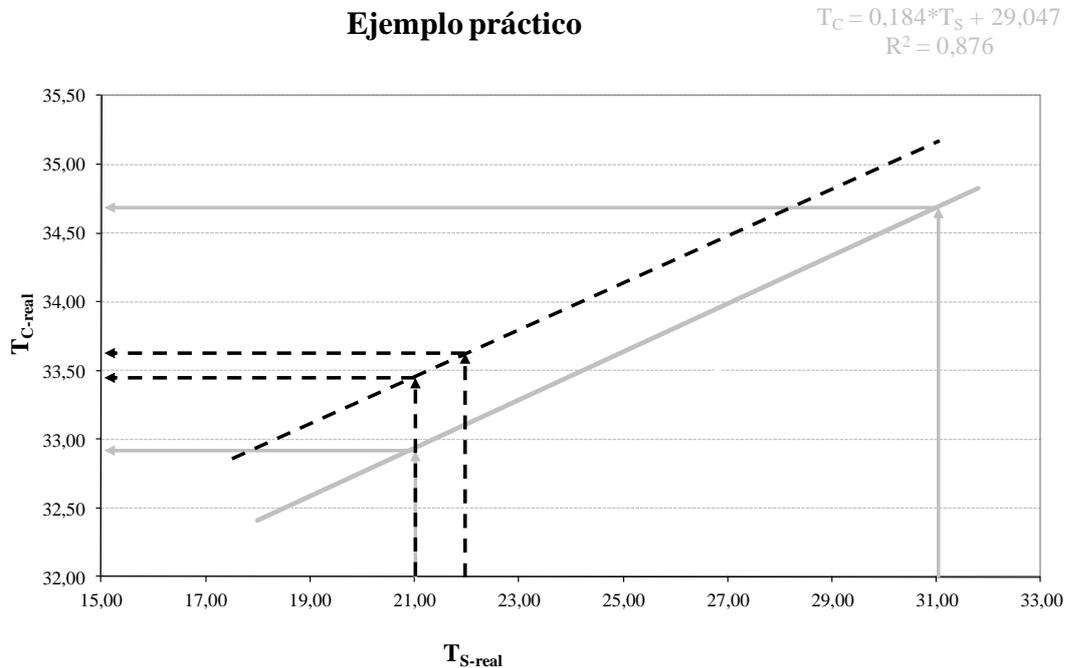
Esta fórmula nos permite estimar la temperatura corporal estandarizada a 21°C ( $T_{C\text{-estándar}}$ ) a partir de la temperatura de la sala de evaluación ( $T_S$ ) y la temperatura corporal registrada por la cámara ( $T_{C\text{-real}}$ ).

Vamos a comprobar la fórmula con otro ejemplo. En este caso, con una temperatura de sala ( $T_S=22^\circ\text{C}$ ) más próxima a las condiciones estándar de 21°C establecidas. Aplicamos nuestra fórmula 23:

$$T_{C\text{-estándar}} = T_{C\text{-real}} - [0,184 * (T_S - 21^\circ\text{C})]$$

donde conocemos  $T_{C\text{-real}}$ , pues es el dato proporcionado por la cámara termográfica (33,65°C), y la  $T_S$  por el termómetro externo que deberemos instalar en la

sala (en este caso 22°C). Estos datos se pueden ver en la figura 28 con flechas discontinuas.



**Figura 28.**-Ejemplo de gráfico de aplicación de la fórmula de estimación de la temperatura infrarroja estandarizada a 21°C.

La estimación de la temperatura estándar a 21°C será:

$$T_{C\text{-estándar}} = 33,65 - [0,184 * (22^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C})]$$

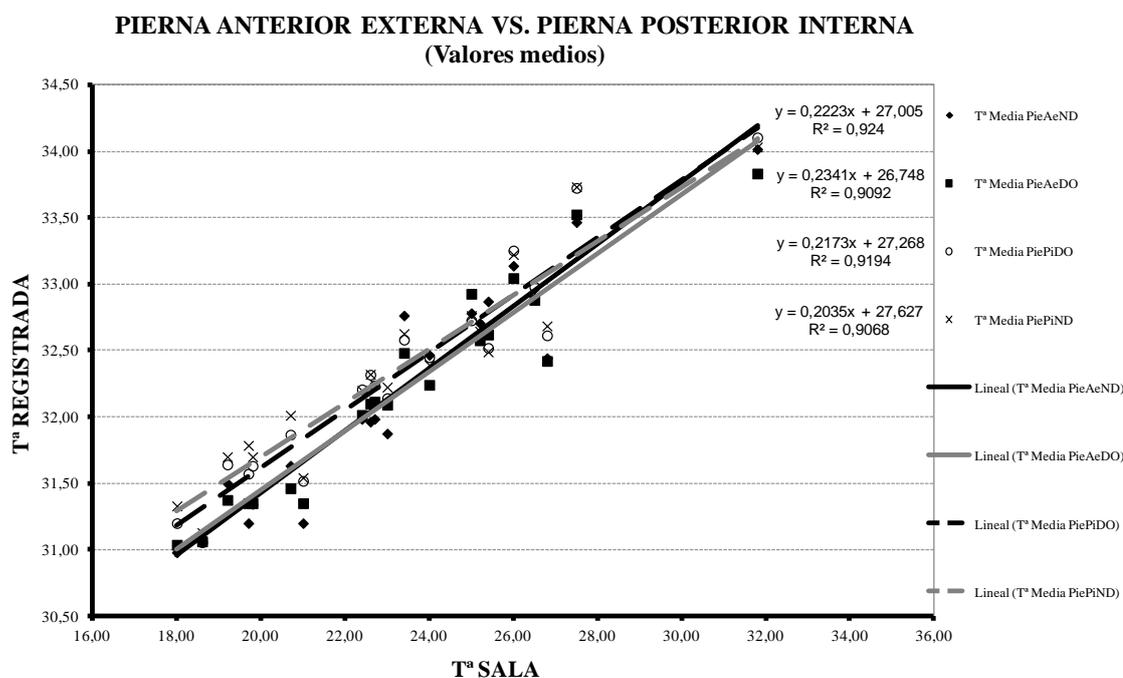
$$T_{C\text{-estándar}} = 33,65 - (0,184 * 1^\circ\text{C})$$

$$T_{C\text{-estándar}} \cong 33,47$$

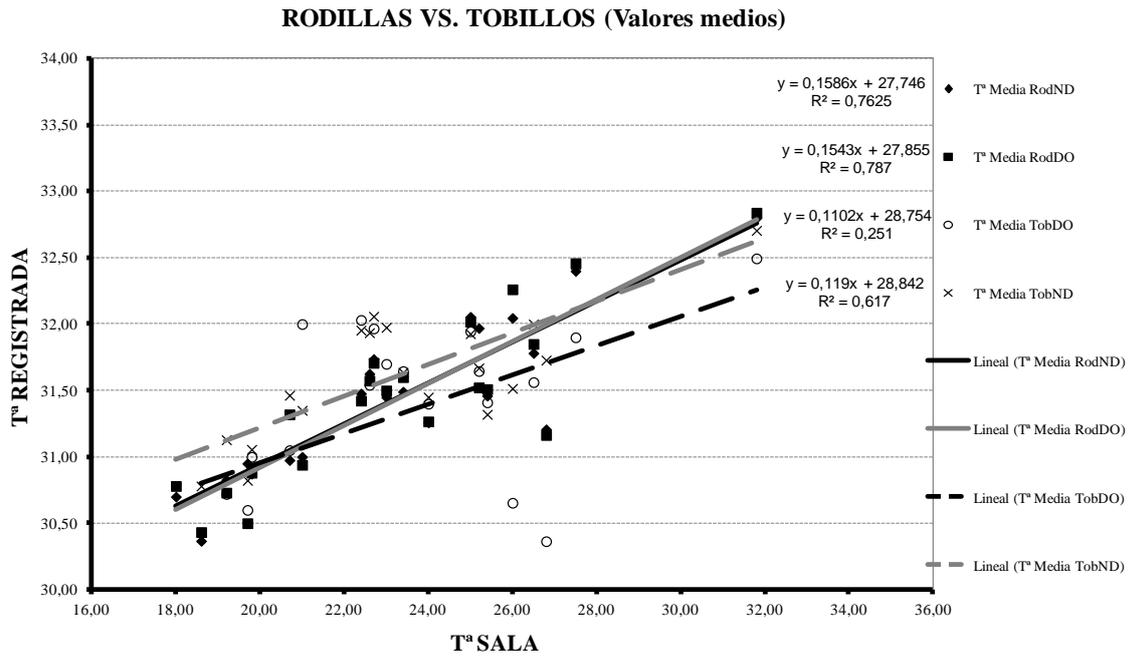
Para finalizar este apartado de resultados, mostraremos dos ejemplos de diagramas de dispersión de la evolución de las temperaturas registradas en diversas zonas en función de la temperatura ambiente. Por un lado, veremos el diagrama de dispersión de dos zonas musculares (figura 29) con una excelente correlación y, por otro lado, el diagrama de las dos únicas zonas articulares analizadas en el estudio y que corresponden a las áreas con valores de bondad de ajuste más bajos (figura 30).

Como en apartados anteriores se vieron que existían diferencias significativas en los resultados obtenidos entre dominancia y lateralidad ó temperaturas máximas ó medias, no mostraremos un ejemplo de diagrama para cada caso, evitando dar información recurrente y que dificulte la lectura del documento.

El primer diagrama de dispersión (figura 29) muestra una excelente relación entre las variables, ilustrando de esta manera los datos mostrados en tablas anteriores. Basta con observar el grado en el que la nube de puntos se ajusta a la línea recta para hacerse una idea de que la relación entre las variables es muy alta. En cambio, en el diagrama de dispersión de las articulaciones (figura 30) la nube de puntos esta más dispersa, sobre todo en los tobillos, y no se ajusta tanto a la línea recta; por lo que la relación entre las variables es más baja como se confirma en los valores de  $R^2$ .



**Figura 29.-** Gráfica de dispersión lineal de la PieAe y PiePi en función de la temperatura registrada y la temperatura de la sala.



**Figura 30.-** Gráfica de dispersión lineal de la rodilla y el tobillo en función de la temperatura registrada y la temperatura de la sala.

## **5. DISCUSIÓN**



## 5. DISCUSIÓN

Antes de profundizar en la discusión de los resultados obtenidos en el presente estudio, consideramos interesante repasar las características de las pretemporadas estudiadas en cuanto a determinados factores que hayan podido influenciar, tanto en la incidencia de lesión, como en el registro de temperaturas. Teniendo en cuenta la dificultad que conlleva investigar a un club y deportistas profesionales de alto rendimiento, se intentó siempre que las condiciones en las pretemporadas 2008 y 2009 fuesen lo más similares posibles, esto puede condicionar la validez interna del estudio, aunque la validez externa u ecológica pensamos que es relevante.

En primer lugar, buscamos comprobar la similitud de los parámetros que suponen factores de riesgo intrínseco que habrían podido influir en el riesgo ó la incidencia de lesión en las dos pretemporadas estudiadas. Entre la gran cantidad de factores existentes apuntamos los siguientes:

- El nivel de habilidad. La muestra que participó en ambas pretemporadas fue el mismo equipo de fútbol, considerado por la RFEF y Liga de Fútbol Profesional Española como equipo profesional, al igual que el resto de equipos de 1ª y 2ª División A. Por lo tanto, el nivel de habilidad del equipo, como el de los jugadores participantes en el estudio, se mantuvo por igual en ambas pretemporadas, evitando así la diferencia de nivel que como demuestran numerosos estudios (Bahr & Holme, 2003; Dvorak et al., 2000) lo consideran un factor que influye en la incidencia de lesión. Numerosos artículos afirman de forma unánime que la probabilidad de sufrir una lesión aumenta de forma proporcional al nivel de la categoría en la que el jugador participa (Ekstrand et al., 1990; Ekstrand et al., 2004b; Hagglund et al., 2003; Inklaar, 1994b; Nielsen & Yde, 1989; Peterson et al., 2000; Poulsen, Freund, Madsen, & Sandvej, 1991; Walden et al., 2005b).
- La edad. Debemos comentar que no existen diferencias significativas ( $p=0,924$ ) en cuanto a la edad entre los jugadores de ambas pretemporadas,

es decir, una diferencia de edades podría sesgar los resultados obtenidos en la pretemporada 2008 y 2009. La mayoría de los autores están de acuerdo en que la edad hace aumentar de manera considerable la incidencia de lesión (Bahr & Holme, 2003; Chomiak et al., 2000; Dvorak & Junga, 2000). En el caso de nuestro estudio, la edad media de los jugadores en la pretemporada de 2008 ( $27,4 \pm 4,0$  años) y de 2009 ( $27,3 \pm 3,9$  años) puede considerarse como equivalente.

- La estatura. Al igual que ocurre con la edad, en la estatura no existen diferencias significativas ( $p=0,766$ ) entre los jugadores de las dos pretemporadas estudiadas. Numeros autores demuestran como las diferencias anatómicas, fisiológicas o biológicas influyen en la incidencia de lesión (Bahr & Holme, 2003; Dvorak et al., 2000; Meeuwisse & Love, 1998). Estudios como el de Noya (2011) muestran cómo los jugadores de menor talla tienen mayor incidencia de lesión. En el caso de nuestra investigación, la estatura media de los jugadores en la pretemporada de 2008 ( $182,0 \pm 4,1$  años) y de 2009 ( $181,6 \pm 4,6$  años) parece no ser un factor influyente en los resultados.
- El peso. Como ocurre con los factores anteriores, el peso fue otro parámetro que no obtuvo diferencias significativas ( $p=0,652$ ) entre la muestra de estudio de la pretemporada 2008 y la muestra de 2009. El peso medio de los jugadores en 2008 ( $76,3 \pm 4,2$  años) y en 2009 ( $75,8 \pm 4,1$  años) apenas sufrió modificaciones. Por lo tanto, otro de los factores que pueden influir en la incidencia de lesión, como el peso o la composición corporal (Bahr & Holme, 2003), se mantuvo constante en ambos años y parece que no influyó en los resultados.
- La raza. Por último, algunos autores hacen referencia a que las diferentes características de una persona, como la raza, que puede ser un factor influyente en la incidencia de lesión (Dvorak & Junga, 2000). Estudios como el de Noya (2011) demuestra cómo los jugadores africanos son aquellos con mayor incidencia de lesión ( $10,28$  les./1000h.). En nuestro estudio se mantuvo una proporción de jugadores muy similar, en cuanto a la raza y continente de procedencia, entre los jugadores de la pretemporada del 2008 con la del 2009. Las pruebas de chi-cuadrado, tanto para la

procedencia ( $p=0,763$ ) como para la raza ( $p=0,797$ ) de los jugadores, en ambas pretemporadas demuestran la ausencia de relación significativa y, por lo tanto, la semejanza de proporciones en cada variable durante el 2008 y 2009.

En segundo lugar, se apuntan los factores de riesgo extrínseco que pudieron influir en la incidencia de lesión. Entre la gran cantidad de factores existentes algunos de los más importantes son:

- El equipamiento deportivo. Como señalan varios autores en la literatura, unas malas condiciones del equipamiento deportivo y un uso inapropiado ó desconocido del material deportivo puede aumentar el riesgo de sufrir una lesión (Bahr & Holme, 2003; Dvorak & Junga, 2000; Dvorak et al., 2000). El equipamiento deportivo en ambas pretemporadas se encontraba en buenas condiciones y, lo que es más importante, todos los sistemas y equipos de entrenamiento que se utilizaron en la pretemporada 2008 se utilizaron a posteriori en la 2009, como por ejemplo máquinas yo-yo, cinturones rusos, máquinas vibratorias y Versa-Pulley, donde se consigue un trabajo de gran intensidad.
- Las condiciones del campo de juego. A pesar de los diferentes lugares de concentración en los que el equipo se entrenó en ambas pretemporadas, las condiciones del terreno de juego fueron óptimas para la práctica del fútbol en todo momento, como se requiere para un equipo profesional, realizándose siempre el trabajo en campos de césped natural cortado a la misma longitud (2 cm) la cual era elegida por el cuerpo técnico. Con ello se cumplía una de las condiciones que muchos autores establecen para evitar el aumento de la incidencia de lesión en la práctica del fútbol (Dvorak & Junga, 2000; Meeuwisse & Love, 1998).
- La cantidad y calidad del entrenamiento. Es otro de los factores de riesgo que menciona la literatura consultada (Arnason et al., 1996; Chomiak et al., 2000; Dvorak et al., 2000; Ekstrand & Gillquist, 1983a; Ekstrand et al., 1983) Los datos, en nuestro estudio, sobre la incidencia de lesión podrían estar influidos por una diferencia en el volumen o intensidad de trabajo

realizados en las pretemporadas 2008 y 2009. En este aspecto, hay que considerar que, como se determinó en la descripción de la metodología de entrenamiento, las sesiones fueron similares en ambas pretemporadas por el hecho de mantenerse el mismo cuerpo técnico y, por lo tanto, la misma filosofía de trabajo. En cuanto a cantidad de entrenamientos, la media de minutos por sesión fue prácticamente igual en ambas pretemporadas (2008=87min/sesión y 2009=86min/sesión), pero el número de sesiones realizadas durante toda la pretemporada 2009 fue un 17% menos que en 2008 (44 sesiones en 2009 frente a 53 sesiones en 2008). En cualquier caso, calculando el tiempo de exposición de entrenamiento en ambas pretemporadas vemos que no existen diferencias significativas ( $p=0,319$ ), evitando de esta manera otro factor que pudiese alterar los datos registrados.

- La calidad del personal técnico y médico del equipo. Como hemos comentado en el punto anterior, el cuerpo técnico y médico del equipo fue el mismo en ambas pretemporadas, evitando de esta manera que una nueva metodología de trabajo hubiese sido un factor influyente en los datos y resultados de nuestro estudio. Además, las personas de la plantilla técnica y médica del equipo poseían una gran experiencia en su ámbito de trabajo con una larga trayectoria en el fútbol profesional. Algunos autores, como Woods (2002), están de acuerdo en que la calidad del personal técnico y médico del equipo puede influir de manera considerable en la incidencia de lesión. En el caso de nuestro estudio, pensamos que este aspecto no ha influenciado en ninguna de las dos pretemporadas al mantenerse los mismos profesionales de un año a otro.
- El protocolo de prevención de lesiones post-ejercicio llevado a cabo por el cuerpo técnico y médico durante las dos pretemporadas. La bibliografía indica que llevar a cabo un correcto protocolo de prevención de lesiones puede ayudar a reducir la incidencia de estas (Ekstrand, 1982; Engstrom & Renstrom, 1998; Group, 2008a, 2008b). En este aspecto, el protocolo de prevención de lesiones fue idéntico en las dos pretemporadas estudiadas. La única variación fue la utilización de los resultados de los informes termográficos de los jugadores como información adicional para realizar las tomas de decisiones por parte del equipo técnico en aplicar el protocolo.

- La exposición a competición. Al igual que ocurre con la cantidad de entrenamientos, el número de partidos jugados es un factor que puede influir en la incidencia de lesión (Dvorak et al., 2000; Meeuwisse & Love, 1998). La cantidad de partidos jugados en la pretemporada 2009 fue un 12% mayor que en la pretemporada 2008 (9 partidos en 2009 frente a 8 partidos en 2008). Si traducimos estos datos a tiempo de exposición y realizamos una prueba t-Student observamos que si existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) vemos que la exposición a partidos es mayor en la pretemporada 2009 que en la 2008. Este dato nos indicaría que durante el 2009 se deberían haber producido más lesiones debido a un mayor tiempo de exposición a partidos; sin embargo, como veremos más adelante esto no ocurrió así.
- Las variables medioambientales. (Dvorak & Junga, 2000) y entorno de trabajo (Bahr & Holme, 2003) son otros de los factores que señala la literatura para tener en cuenta para estudiar el riesgo de lesión. En nuestro caso, la mayoría de los lugares de trabajo durante ambas pretemporadas coincidieron, exceptuando los días, de concentración en el extranjero en la pretemporada 2009 (un total de 5 días). Además, los meses de recogida de datos, Julio y Agosto, también coinciden en ambas pretemporadas, por lo que podemos deducir que no existió una gran diferencia en el clima y en el entorno de trabajo entre la pretemporada 2008 y 2009.

En tercer y último lugar, a la hora de realizar una evaluación termográfica resulta fundamental el controlar el mayor número de factores que pudiesen influir en la temperatura registrada por la cámara termográfica. Por ello, una de nuestras preocupaciones fundamentales fue diseñar un protocolo de evaluación termográfica que siguiese las recomendaciones de instituciones internacionales (IACT, 2002) y autores especializados de referencia en el tema de estudio (Ring & Ammer, 2000). A continuación, repasaremos los más importantes:

- Las evaluaciones termográficas se realizaron todos los días en los que hubo entrenamiento matutino durante la pretemporada 2009. Se realizaron un total de 31 tomas de datos, siempre a las 9:00 de la mañana, recién levantados y antes del desayuno, para controlar la influencia de la ingesta

previa de alimentos (Federspil et al., 1989; Shlygin et al., 1991) y de los ciclos circadianos sobre la fluctuación de la temperatura global del cuerpo (Reinberg, 1975).

- Las evaluaciones termográficas se realizaron antes del comienzo de la sesión de trabajo para evitar la variación de temperatura corporal por la realización de actividad física (Ammer, 1995; Konermann & Koob, 1975; Reinberg, 1975; Smith et al., 1986) no habiéndose realizado ningún tipo de actividad física vigorosa al menos 6 horas antes de la medición (IACT, 2002; Williams, 2008).
- Se utilizó en todas las evaluaciones realizadas la misma cámara termográfica, modelo ThermaCAM TM SC660 (FLIR SYSTEMS, Danderyd, Sweden), para evitar diferencias en el registro de temperaturas por la calibración de la cámara.
- La temperatura de la sala de evaluación termográfica fue medida a través de una estación meteorológica modelo BAR988HG (Oregon Scientific, Portland, Oregon). A pesar de las dificultades presentadas por el constante cambio de lugar de concentración del equipo, la temperatura media registrada en todas las evaluaciones fue de  $22,7 \pm 3,07$  °C, intentando siempre acercarse a los valores ideales marcados entre los 18 a los 25°C (Garagiola & Giani, 1990; IACT, 2002; Ring & Ammer, 2000), para evitar la influencia de la temperatura ambiente sobre la temperatura cutánea (Devereaux et al., 1986; IACT, 2002; Williams, 2008).
- La presión atmosférica y la humedad relativa se registraron con la misma estación meteorológica que la temperatura, dado que son factores que pueden influir en temperatura de la piel según afirman algunos autores (Reinikainen & Jaakkola, 2003). Dichos parámetros ambientales se mantuvieron dentro de valores óptimos para realizar evaluaciones termográficas, con valores medios de  $971 \pm 47,27$  hPa y  $40,61 \pm 8,42$  (Reinikainen & Jaakkola, 2003; Zontak et al., 1998), pero como se verá más adelante no tendrá la misma influencia que la temperatura de la sala sobre las evaluaciones registradas.

- Para una mayor calidad en la evaluación termográfica, los sujetos pasaban un tiempo aproximado de 10 minutos de aclimatación antes de realizarse la fotografía, cumpliendo así una de las recomendaciones más importantes de los autores de referencia y la IACT (Devereaux et al., 1986; Devereaux et al., 1984; IACT, 2002; Williams, 2008). Durante este periodo de aclimatización se le pasaba al sujeto un cuestionario en el que se comprobaba si este había utilizado algún factor que pudiese influir en la evaluación de imágenes termográficas. En dicho cuestionario se les preguntaba sobre:
  - Consumo de tabaco, demostrado por diversos autores (Gershon-Cohen et al., 1969; Gershon-Cohen & Haberman, 1968; Usuki et al., 1998) su influencia sobre la temperatura cutánea.
  - Ingesta de alcohol, café o té, que, como dice Mannara (1993), también tiene influencia en la temperatura de la piel.
  - Ingesta de fármacos que pudiesen afectar a la temperatura cutánea como, por ejemplo: un antiinflamatorio (Ammer, 1995; Lecerof et al., 1990; Ring et al., 1981; Tham et al., 1990).
  - Aplicación de algún tipo de crema, gel o cosmético en las zonas examinadas (Hejazi et al., 1992).
  - Realización de algún tratamiento terapéutico como electroterapia, ultrasonido, termoterapia, crioterapia o un simple masaje (Ammer, 1996; Danz & Callies, 1979; P. Goodman et al., 1991; Kainz, 1993).

En este punto, apenas se produjeron variaciones individuales sobre estos factores a lo largo de toda la evaluación, y en las pocas ocasiones en que esto se producía (aplicaciones de cremas por prescripción médica o prescripción de medicamentos antiinflamatorios, por ejemplo) se apuntaban en el informe final y se excluyeron para la elaboración de los perfiles de los deportistas y los resultados generales.

A continuación discutiremos globalmente los resultados de nuestro trabajo y de forma individual los resultados de cada una de los apartados del estudio de acuerdo con los diferentes objetivos de la tesis.

## 5.1. FRECUENCIA DE LESIÓN

Los resultados de frecuencia de lesión obtenidos durante la pretemporada 2008 (n=15) y la 2009 (n=6) presentan diferencias significativas ( $p<0,05$ ). Además, con la prueba chi-cuadrado observamos como los porcentajes de lesiones entre entrenamiento y competición en ambas pretemporadas no tiene relación significativa ( $p=0,627$ ). Por ello, deducimos que la reducción del número de lesiones pudo estar influenciada por el único factor que se modificó dentro de los factores de influencia de lesiones entre ambas temporadas, la introducción de la TI dentro del protocolo de prevención y seguimiento del proceso de recuperación de lesiones durante la pretemporada 2009.

En la literatura podemos destacar el estudio de Woods (2002) como el más relevante a la hora de determinar la evolución de la frecuencia de lesión total a lo largo de la temporada. Según este estudio, son los primeros meses de la temporada los que presentan una mayor cantidad de lesiones, siendo los valores máximos julio y septiembre con un 13% de todas las lesiones de la temporada cada uno de ellos. En nuestro caso, que sólo se analizaron los meses de julio y agosto, nos encontramos que el mes que presentó mayor cantidad de lesiones en ambas pretemporadas es el mes de agosto (61,9%). Este dato no coincide con el estudio de Woods (2002) pero sí con el de Noya (2011) que encontró a lo largo de la temporada tres picos, con una mayor frecuencia de lesión en los meses de agosto, noviembre y marzo.

Si este mismo análisis lo hacemos diferenciando entre entrenamiento y competición, en nuestros datos tenemos, que durante las dos pretemporadas obtenemos una proporción del 76,2% de lesiones en entrenamiento frente a un 23,8% en competición.

Al revisar la literatura encontramos unanimidad entre los diversos estudios al respecto sobre esta cuestión, llegando al acuerdo de que la mayor frecuencia de lesión en entrenamiento se produjo en pretemporada, y que ésta disminuyó a lo largo de la temporada (Blaser & Aeschlimann, 1992; Ekstrand & Gillquist, 1982; Engström et al., 1990; Junge et al., 2002; Lüthje et al., 1996; Walden et al., 2005a; Woods et al., 2002; Woods et al., 2004). Noya (2011) en su estudio alcanza el valor máximo de lesiones

durante el entrenamiento en agosto con un promedio de 7,63 lesiones por equipo, promedio muy cercano al de nuestro estudio, 8 lesiones por equipo en el cómputo total de ambas pretemporadas.

En relación a la competición, la literatura revisada no es tan concluyente y encontramos estudios como el de Hawkins (2001) que nos indica cómo la frecuencia de lesión en competición es muy elevada en los primeros meses, debido a que en este periodo el estado físico y psíquico de los deportistas no es el adecuado. Mientras, otros autores como Walden (2005a), apuntan que la tendencia es similar a lo largo de la temporada. Por otro lado, también tenemos que destacar que estos estudios se refieren a frecuencia de lesión de partidos en competición oficial y no a partidos amistosos como es nuestro caso. De todas formas, en nuestro estudio destacamos cómo las competiciones de partidos amistosos a lo largo de toda la pretemporada ocupan alrededor del 23,8% de todas las lesiones en este periodo, un porcentaje inferior al de la frecuencia de lesión en entrenamientos.

#### **5.1.1. PROBABILIDAD DE SUFRIR UNA LESIÓN**

Nuestro estudio nos indica que durante la pretemporada 2008 el 45,8% de los jugadores sufrieron al menos una lesión, y en la pretemporada 2009 se redujo el porcentaje a un 20,8%. Cuando se calcula la probabilidad de sufrir una lesión entre pretemporadas, se observa que en 2009 la probabilidad es del 26% y en 2008 es del 84%. La probabilidad de lesión en la pretemporada 2008 se acerca a los datos encontrados en la literatura; como en el estudio de Crozier (2001) que nos indican que la probabilidad de un jugador de sufrir una lesión durante una temporada es del 75% o en el estudio de Noya (2011) donde el valor asciende a un 88,3%. Valores, a la vez, muy alejados de los encontrados en nuestro estudio durante la pretemporada 2009.

#### **5.1.2. LESIONES POR JUGADOR Y PRETEMPORADA**

Dentro del grupo de jugadores que sufrieron al menos una lesión a lo largo de ambas pretemporadas, analizamos el promedio de lesiones encontrando que existe un promedio de 1,3 lesiones por jugador considerando ambas pretemporadas.

Diferenciando en función de la pretemporada obtuvimos que la diferencia no es muy elevada entre 2008, con 1,3 lesiones por jugador lesionado, y 2009, con 1,2 lesiones por jugador lesionado. Valor muy parecido al que encontramos en la literatura para toda una temporada, 1,4 y 1,3 lesiones por jugador y temporada respectivamente (Arnason et al., 2004a; Crozier & Taylor, 2001).

## 5.2. INCIDENCIA DE LESIÓN

Tras la revisión bibliográfica realizada, tenemos que todos los artículos científicos nos señalan la incidencia de lesión total en el fútbol profesional en valores comprendidos entre las 6 y 9 les./1000h. de exposición durante toda una temporada (Ekstrand et al., 2004a, 2004b; Hagglund et al., 2003; Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2005; Hawkins & Fuller, 1999; Morgan & Oberlander, 2001; Walden et al., 2005a, 2006; Yoon et al., 2004). En nuestro estudio, obtuvimos un valor en 2008 de 8,3 les./1000h. de práctica deportiva de fútbol profesional y un valor de 3,4 les./1000h. en 2009 durante el periodo de pretemporada; una diferencia significativa entre ambas pretemporadas tras realizar la prueba t-Student ( $p < 0,05$ ). Por lo que, en referencia a los datos consultados, podemos valorar la incidencia del 2008 dentro de los rangos encontrados en la literatura y, sin embargo, la incidencia del 2009 muy por debajo de los estos rangos.

Si dentro de esta situación, diferenciamos en función de la sesión en la que se produjo, respecto al entrenamiento, la mayor parte de los autores revisados en la bibliografía, situó la incidencia de lesión entre 5 y 6 les./1000h. de exposición a entrenamiento (Andersen, Tenga, Engebretsen, & Bahr, 2004; Arnason et al., 1996; Hagglund et al., 2003; Hawkins & Fuller, 1999; Lüthje et al., 1996; Morgan & Oberlander, 2001; Nielsen & Yde, 1989; Peterson et al., 2000; Walden et al., 2005a), por lo que los resultados de nuestro estudio en la pretemporada 2008, se acercan mucho a los encontrados en la revisión bibliográfica, situando la incidencia de lesión en entrenamiento en 6,5 les./1000h. de exposición a entrenamiento; sin embargo, los resultados de nuestro estudio en la pretemporada 2009 están muy por debajo de los valores encontrados en la literatura (3,1 les./1000h. de exposición a entrenamiento).

En el caso de la competición, Junge (2004) nos indicó que la incidencia de lesión es entre 4-6 veces mayor a la encontrada en entrenamiento. Teniendo en cuenta este dato y según lo revisado en la bibliografía, tenemos que la incidencia de lesión en competición oscila entre las 16,6 les./1000h. (Lüthje et al., 1996) y las 35,3 les./1000h. de exposición a la competición (Morgan & Oberlander, 2001), pero situándose en la mayor parte de los estudios entre 25 y 28 les./1000h. de exposición (Andersen, Tenga et al., 2004; Arnason et al., 1996; Hagglund et al., 2003; Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2005; Lüthje et al., 1996; Nielsen & Yde, 1989; Peterson et al., 2000; Walden et al., 2005a). Los resultados obtenidos en el presente estudio en partidos amistosos durante la pretemporada 2008, son coincidentes con lo aportado por la literatura, encontrando una incidencia de lesión en competición de 30,3 les./1000h. de exposición. Por otro lado, en la pretemporada 2009 nos encontramos una incidencia de lesión en competición de 6,8 les./1000h. de exposición, un valor muy por debajo de los resultados obtenidos en todos los estudios.

Si revisamos este aspecto en la literatura, tenemos el estudio de Morgan (2001) en el cual, se comparó la incidencia de lesión de los partidos de carácter oficial con respecto a aquellos de carácter amistoso, no obteniendo diferencias significativas, pero con un menor riesgo de sufrir una lesión en los partidos amistosos (24,8 les./1000h. de exposición a partidos amistosos frente a 35,2 les./1000h. de exposición a partidos oficiales de competición).

Para acercarnos más a nuestra realidad, compararemos nuestro estudio con otros que aporten datos más específicos de pretemporada. Por ejemplo, estudios como el realizado por Hawkins (2001), nos indican que la incidencia de lesión durante el periodo de pretemporada, fue menor que en la temporada (9,7 les./1000h. frente a 8,2 les./1000h. de exposición en pretemporada). Resultado, este último, que se acerca más a los obtenidos por nosotros en 2008: 8,3 les./1000h. de exposición en pretemporada.

Walden (2005a) diferenció entre entrenamiento y competición, llegando a la conclusión de que la incidencia de lesión en entrenamiento durante la pretemporada era superior a la temporada (5,2 les./1000h. frente a 4,8 les./1000h.), a pesar de que en valores totales, había obtenido el mismo resultado que Hawkins (2001). Si los

resultados de la incidencia de lesión durante la pretemporadas 2008 y 2009 los comparamos con los de un estudio de Walden (2005b) llevado a cabo con nueve clubes en las dos principales competiciones europeas (UEFA y Champions League), podemos ver que en la temporada 2009, cuando el equipo llevó a cabo la intervención basándose en la termografía para tomar decisiones con jugadores en situación de riesgo de lesión, los valores de la incidencia de lesión fueron menores que en la pretemporada 2008 y que los del estudio de Walden, tanto en los valores generales ( $X_{2008}=8,3$ ;  $X_{2009}=3,4$ ;  $X_{WALDEN}=8,2$ ), como en entrenamiento ( $X_{2008}=6,5$ ;  $X_{2009}=3,1$ ;  $X_{WALDEN}=5,2$ ) y, sobre todo, en los valores referentes a la competición ( $X_{2008}=30,3$ ;  $X_{2009}=6,8$ ;  $X_{WALDEN}=28,6$ ).

La incidencia de lesión total en la pretemporada 2008 fue de 8,3 les./1000 horas de exposición. Comparando estos datos con los expuestos en el trabajo de Walden y colaboradores (2005b), podemos observar que la incidencia de lesión total en 2008 es muy similar a los valores de dicho estudio (8,3 les./1000h. de exposición en 2008, frente 8,2 les./1000h. de exposición de Walden<sub>2005</sub>). Sin embargo, tras la introducción de la TI en el protocolo de prevención de lesiones, la incidencia de lesión en la pretemporada de 2009 se redujo a 3,4 les./1000h de exposición, una reducción importante comparada con los dos datos de referencia anteriores.

Si profundizamos como anteriormente en la incidencia de lesión teniendo en cuenta la exposición a entrenamiento ó competición, la incidencia de lesión en entrenamiento en la pretemporada de 2008 fue de 6,5 les./1000h de exposición, un dato similar a la media de Walden y colaboradores (2005b) de 5,2 les./1000h y bastante superior en ambos casos a la de la pretemporada 2009 (3,1 les./1000h).

Por otro lado, la diferencia fue mucho más manifiesta para los datos de incidencia de lesión en partidos amistosos que fue de 30,3 les./1000h en la pretemporada de 2008, un dato muy cercano a las 28,6 les./1000h establecidas por Walden y colaboradores, y dentro del intervalo de confianza fijado en dicho estudio (entre 18,5 y 38,7 les./1000h). En este apartado hay que destacar el marcado descenso de la incidencia de lesión en competición (6,7 les./1000h) durante la pretemporada 2009.

Los datos mostrados en párrafos anteriores nos hacen desechar la idea de que la considerable reducción de la incidencia de lesión en la pretemporada 2009, no se debió a una excesiva incidencia de lesión en el 2008.

### 5.3. LOCALIZACIÓN DE LAS LESIONES

Abordando el tema de la localización de las lesiones, encontramos que en nuestro estudio la localización de lesión más frecuente en ambas pretemporadas fue el muslo con un total del 47,6% (n=10) de las lesiones, y más concretamente con un 53,3% (n=8) de las lesiones en la pretemporada 2008 y un 33,3% en 2009 (n=2), con una disminución significativa ( $p=0,05$ ) en la pretemporada 2009.

Muchos estudios también señalan al muslo como la región con mayor frecuencia de lesión, pero siendo los porcentajes inferiores a los obtenidos en nuestro estudio, ya que estos autores los marcan entre el 21% y el 23% de todas las lesiones (Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2005; Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001; Junge, Dvorak, Graf-Baumann et al., 2004; Lüthje et al., 1996; Walden et al., 2005a, 2005b; Woods et al., 2002). Pero a partir de este punto, si continuamos estudiando esta cuestión, encontramos diferencias con respecto a la literatura, ya que en nuestro caso, las siguientes localizaciones más frecuentes en ambas pretemporadas las encontramos en la región cadera/aductor (14,3% de todas las lesiones) y en el tobillo (14,3% de todas las lesiones), y la literatura nos indica que las siguientes localizaciones más frecuentes son la rodilla (porcentajes comprendidos entre el 16-21%) y el tobillo (porcentajes comprendidos entre el 13-18%).

Profundizando en la localización de mayor incidencia de lesión en el fútbol, el muslo, podemos a su vez diferenciar dos zonas: la región posterior y la región anterior. Respecto al muslo anterior, nuestros datos (33,3% en el 2008 y 33,3% en el 2009 respecto al total de lesiones) son similares a la tendencia de los encontrados en la literatura (29% del total de las lesiones) (Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001; Walden et al., 2005b). En relación al muslo posterior nuestros resultados en la pretemporada 2009 fueron del 0% de lesiones, un porcentaje inferior al encontrado en la pretemporada 2008 con un 20% respecto al total de lesiones y a la tendencia de los

estudios de la literatura (11% del total de las lesiones) (Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001; Walden et al., 2005b).

Por otro lado, Woods (2002) encontró una mayor incidencia de lesión en pretemporada a nivel de la pierna, siendo significativamente superior ( $p<0,05$ ) su proporción en comparación a la temporada, no ocurriendo lo mismo para otras localizaciones como el muslo, tobillo o la rodilla. A pesar de ello, en este mismo estudio se observa que la mayor frecuencia para las lesiones musculares fue el recto anterior del cuádriceps (29%), seguido del aductor mediano (12%) y el bíceps femoral (11%), ocurriendo en el caso del recto anterior del cuádriceps, una proporción superior con respecto a la temporada, y en el caso del bíceps femoral una proporción inferior, llegando ambos a la significación estadística ( $p<0,01$ ).

#### **5.4. TIPOLOGÍA DE LAS LESIONES**

Si nos centramos en la tipología de las lesiones total en ambas pretemporadas, tenemos que fueron las musculares, con un 61,9%, las más frecuentes seguidas de las tendinosas 19% y las lesiones ligamentosas o articulares 9,5%, mientras que en las demás tipologías su ocurrencia fue mucho menor. Los porcentajes de lesiones en función de la tipología se mantuvieron en este orden tanto en la pretemporada 2008 como en la 2009, reduciéndose únicamente el porcentaje de las lesiones de tipo muscular al 50% y aumentando respectivamente las articulares al 16,7% en el 2009.

La revisión bibliográfica realizada sobre este tema, aporta resultados con porcentajes un poco inferiores a los nuestros en las lesiones musculares; encontrando que las lesiones más frecuentes fueron las musculares (proporciones comprendidas entre el 21-37%), seguidas de las lesiones de carácter ligamentoso (proporciones comprendidas entre el 13-22%). Tenemos que destacar que los datos de la literatura con los que comparamos son de temporadas enteras y que la mayor incidencia de lesiones musculares se produce en pretemporada y, posteriormente, se compensa durante la temporada, por lo que nuestros datos, más elevados, pueden tener una cierta lógica (Arnason et al., 1996; Engström et al., 1990; Hawkins et al., 2001).

Como hemos dicho anteriormente, según Walden (2005a), es mayor la incidencia de lesión en pretemporada. Esto se debe, a las sobrecargas musculares y lesiones tendinosas, existiendo una mayor proporción de este tipo de lesiones ( $p<0,01$ ), sobre la temporada competitiva. En relación a este aspecto, mencionar que los resultados obtenidos en nuestro estudio coinciden con los de Walden al encontrarnos en ambas pretemporadas una mayor incidencia en lesiones por sobrecarga muscular y lesiones tendinosas en comparación con cualquier otra tipología de las lesiones.

Debemos de apuntar que en nuestro estudio las lesiones musculares se estudiaron de forma separada en función de su diagnóstico de lesión, (rotura y sobrecarga muscular), y podemos observar cómo en la pretemporada 2009 se redujeron considerablemente las roturas musculares con una frecuencia de 4 lesiones en 2008 a 0 en 2009. En relación, a las sobrecargas musculares se redujo en un 50% las lesiones de este tipo del 2008 ( $n=6$ ) al 2009 ( $n=3$ ). Por lo tanto, se produjo una reducción significativa ( $p<0,05$ ) de lesiones de tipo muscular entre la pretemporada 2008 y 2009.

Como hemos comentado anteriormente, la frecuencia de lesiones por rotura muscular fueron muy elevadas en la pretemporada 2008 en comparación con la pretemporada 2009, alcanzando una incidencia de lesión de 2,2 les./1000h., valor superior al que nos aporta Ekstrand (2004a) en su estudio con 1,7 les./1000h. Pero si generalizamos este dato, englobando al conjunto de todas las lesiones de carácter muscular, tenemos que la incidencia de lesión fue de 5,5 les./1000h. en 2008 y 1,7 les./1000h en 2009. En la literatura encontramos el estudio de Arnason (1996), quien nos aporta el dato de 2,6 les./1000h. en cuanto a lesiones musculares, que es claramente un dato intermedio a los aportados por nuestro estudio.

Respecto a las lesiones ligamentosas o articulares, podemos afirmar, igual que hace la literatura científica específica, que son la segunda o tercera tipología de lesión más común en el fútbol profesional (Dadebo et al., 2004; Ekstrand et al., 2006; Engström et al., 1990; Faude et al., 2005; Hagglund, Walden, Bahr et al., 2005; Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2005; Inklaar et al., 1996; Peterson et al., 2000; Walden et al., 2005a; Woods et al., 2002; Woods et al., 2004).

Si analizamos su incidencia de lesión en ambas pretemporadas, obtenemos que fue de 0,5 les./1000h. Dato bastante inferior al propuesto por autores como Arnason (1996) con 2,0 les./1000h., o Ekstrand (2004a) con 1,5 les./1000h. de exposición pero debemos tener en cuenta que los datos de estos estudios hacen referencia a toda una temporada.

## 5.5. SEVERIDAD DE LAS LESIONES

En relación a la severidad de las lesiones, podemos afirmar que las más frecuentes fueron las de menor gravedad (o periodo de baja menor), de hecho nuestros estadísticos muestran una tendencia a que en la temporada 2009 el número de lesiones más frecuente fuera la de menor severidad ( $p=0,056$ ). Ésto queda respaldado, por algunos artículos de la literatura científica (Engström et al., 1990; Hagglund et al., 2003; Junge, Dvorak, & Graf-Baumann, 2004; Junge, Dvorak, Graf-Baumann et al., 2004; Morgan & Oberlander, 2001; Yoon et al., 2004), pero otros muchos autores, no demuestran esta relación (Drawer & Fuller, 2002; Ekstrand et al., 2006; Hawkins & Fuller, 1999; Walden et al., 2007; Woods et al., 2002).

Compartimos el punto de vista de Noya (2011), quién defiende que estas diferencias podrían deberse fundamentalmente a las diferentes metodologías utilizadas para el registro de lesiones, así como a la diferencia de algunos criterios de clasificación ligados al concepto de lesión. Además, por otro lado, nos gustaría resaltar la dificultad de acceso que tienen gran parte de los estudios a la información real por parte del club, lo que hace, que exista una pérdida de información si la toma de datos no se hace por parte de un miembro del equipo técnico, fundamentalmente en aquellas lesiones de menor importancia (con periodos de baja inferiores a una semana) que no suelen salir en la prensa. En nuestro estudio, el registro de las lesiones fue realizado siempre por miembros del cuerpo técnico, por lo que nos aseguramos que la información fue siempre completa y ajustada a la realidad.

Si distribuimos las lesiones en función de la severidad, los datos de la pretemporada de 2008 reflejan aparición de lesiones de todo tipo, con un 33,3% de leves, un 13,3% de menores, un 46,7% de moderadas y un 6,7% de graves. Sin

embargo, los datos de 2009 muestran una distribución de los porcentajes exclusivamente entre las leves (83,3%) y las moderadas (16,7%). Este último porcentaje corresponde a una única lesión, de carácter ligamentoso y mediante un mecanismo de producción por contacto como resultado de un lance del juego. El resto de lesiones en 2009 correspondieron a tres sobrecargas, una lesión tendinosa y una periostitis, todas ellas de carácter leve, y no implicaron ausencia prolongada del entrenamiento en grupo. Aún así, la prueba chi-cuadrado afirma que no hay relaciones significativas entre las variables en ambas pretemporadas ( $p=0,329$ ), probablemente debido al reducido número de las mismas. Woods y colaboradores (2002) determinan en su estudio que existe una tendencia mayor a lesiones leves y menores durante la pretemporada ( $p<0,05$ ), relación mucho más cercana a lo registrado en la pretemporada de 2009.

## 5.6. MECANISMO DE PRODUCCIÓN

A través de nuestro estudio, al igual que se obtiene de forma unánime en toda la literatura revisada (Arnason et al., 1996; Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001; Woods et al., 2002), se aprecia que las lesiones más frecuentes fueron producidas sin contacto: 85,7% de todas las lesiones frente a 14,3% con contacto considerando ambas pretemporadas a la vez. Partiendo de esa base, si analizamos por separado las pretemporadas, los datos registrados en 2008 reflejaban que un 86,7% de las lesiones se produjeron sin contacto, y un 13,3% con contacto y, por lo tanto, los datos registrados en 2009 son muy similares, con un 83,3% de lesiones sin contacto, y un 16,7% con contacto. Curiosamente la única lesión con contacto del 2009, supuso el 57,14% de todos los días de baja del equipo de la pretemporada. Pero a pesar de ello, los datos que aportamos difieren de los valores más elevados de la literatura, pertenecientes al estudio de Woods (2002), quien reportó que el 60% de las lesiones se produjeron sin contacto frente al 40% con contacto ( $p<0,01$ ).

Esta última discrepancia puede deberse, a que las lesiones de menor severidad, como anteriormente hemos descrito, tienen una mayor proporción de lesiones sin contacto, y como hemos visto en la revisión bibliográfica, la mayoría de los artículos tienen una seria limitación de registro, con las lesiones inferiores a una semana de baja, siendo su registro limitado en algunos casos y eso puede provocar una disminución de

las lesiones sin contacto. Por ello, proponemos un mayor énfasis en posteriores estudios, intentando realizar un registro con la mayor precisión posible en aquellas lesiones de baja severidad.

Algunos autores como Engström (1990), diferencian en función de la tipología de las lesiones, llegando a la conclusión de que las lesiones por sobrecarga, se producen mayormente en pretemporada y también destacan en el periodo competitivo en su inicio y final, ocurriendo prácticamente lo contrario con las lesiones traumáticas, que fueron menos frecuentes durante la pretemporada y aumentaron progresivamente durante el periodo competitivo.

Nos parece interesante destacar también el estudio de Woods (2002), que nos muestra la tipología de lesiones que se producen en la temporada, en función de si existe o no contacto en el mecanismo de producción de lesión. Este afirma, que en el periodo de pretemporada fueron poco frecuentes las lesiones con contacto con un 29% de las lesiones registradas, mientras que en la temporada competitiva incrementaron significativamente ( $p < 0,01$ ) hasta un 40%.

Además, algunos autores como Hawkins (2001) defienden que esa mayor frecuencia de lesión de la pretemporada es debida fundamentalmente a lesiones por sobrecarga.

Por lo tanto, consideramos el mecanismo de producción de las lesiones de crucial importancia pues delimita la aplicabilidad de la TI en el ámbito de la prevención de lesiones. En el caso de las lesiones producidas por un mecanismo traumático y directo, como es el caso de las contusiones, no se pueden prevenir de ninguna manera mediante la información ofrecida por la termografía. Sin embargo, sí será válida la información y, por lo tanto, se podrán prevenir las lesiones por sobrecarga y sin contacto. Según algunos autores (Dvorak et al., 2000; Inklaar, 1994a; Junge, Dvorak, & Graf-Baumann, 2004), las lesiones sin contacto se deben fundamentalmente a una insuficiente recuperación de las demandas requeridas para dicha actividad, por lo que parece que las lesiones provenientes de este tipo de mecanismos de producción, podrían

ser más factibles de prevenir en un futuro con una correcta información termográfica y un protocolo de intervención adecuado.

## 5.7. DÍAS DE BAJA POR LESIÓN

La ausencia media causada en días de baja de todas las lesiones registradas en el estudio fue de 8,09 días. Este dato se encuentra ligeramente por debajo de los estudios revisados, en los que el valor inferior fue de 11,6 días (Hagglund et al., 2003), mientras que el valor promedio máximo encontrado fue de 24,4 días (Hawkins et al., 2001). Si comparamos por pretemporada nos encontramos con 10,4 días en 2008 y 2,3 días en 2009.

Estos últimos datos nos vuelven a confirmar la diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) existente entre 2008 y 2009, afirmando de esta manera la hipótesis del presente estudio. Sobretodo, cuando observamos por un lado, que la gran mayoría de condiciones, tanto intrínsecas como extrínsecas, las cuales podían influir en los resultados de frecuencia o incidencia de lesión, se mantuvieron iguales durante ambas pretemporadas; por otro lado, que la distribución o proporción de las lesiones en los diferentes parámetros estudiados (frecuencia e incidencia a entrenamiento-competición, localización, tipología, mecanismo, etc) mantiene una similitud y coherencia entre ambas pretemporadas y la literatura revisada; y, por último, que solo la importante variable del número de lesiones y, consecuentemente, días de baja, se modifica significativamente entre ambas pretemporadas, es decir, que el número de lesiones se reduce considerablemente en la pretemporada 2009 donde se incorporó la TI dentro del protocolo de prevención post-ejercicio.

En relación a los días de baja en función de la severidad de las lesiones, podemos afirmar, como es lógico, que las lesiones graves y moderadas son las que más días de baja acumulan a pesar de ser las menos frecuentes. Al ser más reducido el número de lesiones moderadas y graves en la pretemporada 2009 es lógico que los días de baja por lesión sean también más bajos. Ésto queda respaldado, por algunos artículos de la literatura científica (Engström et al., 1990; Hagglund et al., 2003; Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2005; Junge, Dvorak, & Graf-Baumann, 2004; Junge, Dvorak,

Graf-Baumann et al., 2004; Lüthje et al., 1996; Morgan & Oberlander, 2001; Yoon et al., 2004).

## **5.8. LATERALIDAD DE LESIÓN**

En relación a la lateralidad de lesión, el 57,1% de las lesiones producidas en ambas pretemporadas se produjeron en la pierna dominante del jugador lesionado, mientras que el 38,1% de las lesiones se dieron en la pierna no dominante y el 4,8% fueron indiferenciadas. Dichas proporciones no suponen diferencias significativas entre las lesiones producidas en la pierna dominante y no dominante. La literatura a este respecto, también nos indica que no existen diferencias significativas en frecuencia de lesión entre ambas piernas, siendo sólo ligeramente superior la frecuencia de lesión en el lado dominante con porcentajes comprendidos entre el 56% y el 53% (Woods et al., 2002; Woods et al., 2004).

Si desglosamos los datos por pretemporadas, observamos que no se mantiene esta relación; es decir, en la pretemporada 2008 se produce un mayor porcentaje (66,7%) de lesiones en la pierna dominante y en la pretemporada 2009 un mayor porcentaje (50%) de lesiones en la pierna no dominante.

## **5.9. PERFIL TÉRMICO DEL MIEMBRO INFERIOR DE LOS JUGADORES PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO**

Antes de introducirnos en el siguiente punto, nos gustaría aclarar que siempre que comparemos nuestros resultados térmicos con otros estudios, estos se referirán solamente a las zonas corporales de la extremidad inferior analizadas en el presente estudio. Muchos de los artículos que mencionaremos a continuación estudian también las zonas corporales del miembro superior y normalmente estas suelen tener mayor temperatura que la de los miembros inferiores por su cercanía al epicentro del cuerpo.

El perfil térmico de los jugadores en función de su lateralidad y dominancia guarda una gran similitud tanto en sus temperaturas medias como máximas. Hay que

tener en cuenta que la gran mayoría de los jugadores de fútbol eran diestros ( $n=21$ ), además, actualmente el jugador de fútbol profesional utiliza casi por igual las dos piernas y gran parte del trabajo realizado por este es sin balón (Castillo, Martínez, Liarte, & Díaz, 2004). Esto explicaría que las diferencias entre los valores de los distintos lados del miembro inferior, en función de la lateralidad y la dominancia, y los valores registrados fueran prácticamente los mismos.

Aunque, evidentemente, los valores medios son siempre inferiores a los valores máximos, estos siguen la misma distribución en las diferentes zonas del miembro inferior. Las zonas corporales con una estimación del promedio de temperatura máxima más elevada son la lumbar ( $34,26 \pm 0,50^\circ\text{C}$ ) y el poplíteo ( $33,88 \pm 0,63^\circ\text{C}$ ). En estudios como el de Hsing-Hua y colaboradores (2001) también la zona lumbar registra las temperaturas máximas más altas ( $32,3^\circ\text{C}$ ), seguida de la pierna posterior ( $32,0^\circ\text{C}$ ). En este caso, tenemos que informar que el estudio al que hacemos mención no separa la parte poplíteica de la pierna y muslo posterior, por lo que, podemos concluir que los resultados se acercan bastante a los encontrados en el nuestro. Estos resultados son lógicos dado que dichas zonas corporales poseen mayor flujo sanguíneo y actividad metabólica, principales factores del aumento de la radiación infrarroja y, por lo tanto, de la temperatura corporal (Mangine et al., 1987). En el caso de la zona lumbar, por estar más cerca del epicentro del cuerpo y ser el eje de cualquier movimiento de este, y de los poplíteos, al poseer un gran paquete vasculo-nervioso.

En la estimación del promedio de temperaturas medias, las zonas con un valor más elevado que el resto son, de nuevo, la lumbar ( $33,23 \pm 0,57^\circ\text{C}$ ), los aductores ( $32,89 \pm 0,67^\circ\text{C}$ ) y los poplíteos ( $32,87 \pm 0,71^\circ\text{C}$ ). Estos datos son muy similares a los presentados por Nomura y colaboradores (2008), en los que establecen que la zona corporal con un promedio de temperatura media más elevado, en relación a las áreas estudiadas en nuestro estudio, son la lumbar ( $33,18 \pm 1,75^\circ\text{C}$ ), seguido del muslo anterior ( $31,89 \pm 2,38^\circ\text{C}$ ), pierna anterior ( $31,85 \pm 2,16^\circ\text{C}$ ) y poplíteo ( $31,83 \pm 2,31^\circ\text{C}$ ). En este caso, Nomura no separa la zona del aductor con la del muslo anterior por lo que podemos decir que el orden decreciente en su estudio se mantiene como en el nuestro, exceptuando la zona de la pierna anterior. Por otro lado, Hsing-Hua y colaboradores (2001) en su estudio mantienen el orden de lumbar ( $30,4 \pm 0,7^\circ\text{C}$ ), seguido de muslo

posterior ( $30,3\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ ) y pierna anterior ( $30,3\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ ). Este último estudio, no diferencia la zona poplítea y se recoge como parte del muslo y pierna posterior.

Como se puede ver en los resultados expuestos hasta ahora de otros estudios, no se corresponden los valores absolutos con los nuestros (pues son en algunos casos mayores y en otros menores a los obtenidos en nuestro estudio). Esto puede deberse a diferencias en el protocolo, en las temperaturas ambientes en las que se realizan los registros, en la actividad previa que han realizado los sujetos, en el tiempo de aclimatación, y en muchos otros factores que pueden haber alterado el valor del registro. Sin embargo, es interesante ver que las relaciones de temperatura entre distintas partes del cuerpo se mantienen, pues es lo que da validez a nuestros resultados.

Si por el contrario, analizamos las zonas corporales con la estimación del promedio de temperatura máxima o media más bajas que el resto, podemos observar que estas zonas corresponden a las articulaciones de los tobillos (Máxima-DE= $32,50\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  y Media-DE= $31,45\pm 0,61^{\circ}\text{C}$ ) y las rodillas (Máxima-DE= $32,87\pm 0,56^{\circ}\text{C}$  y Media-DE= $31,46\pm 0,61^{\circ}\text{C}$ ). Este resultado es lógico dado que dichas zonas corporales, si no están lesionadas o sobrecargadas, son zonas distales del cuerpo, predominantemente tendinosas y, por lo tanto, con menor irrigación sanguínea y actividad metabólica, principales factores del aumento de la radiación infrarroja y, consecuentemente, de la temperatura corporal (Mangine et al., 1987). Los resultados mostrados coinciden con el resto de estudios de la bibliografía consultada (BenEliyahu, 1990, 1992; Kolosova-Machuca & González, 2011; Nomura et al., 2008; Uematsu et al., 1988).

En el análisis de diferencias de medias en temperaturas máximas entre la zona corporal derecha e izquierda observamos que sólo existen diferencias significativas ( $p<0,05$ ) en la zona corporal del tobillo con una diferencia de  $0,19^{\circ}\text{C}$ . Si este mismo análisis lo hacemos en función de la dominancia y, también, con el promedio de las temperaturas medias, los resultados son parecidos. En todos los casos, todas las zonas corporales estudiadas, exceptuando el tobillo, no tienen diferencias significativas entre la parte dominante y no dominante, o derecha e izquierda. En el caso de los tobillos, pensamos que la distancia y colocación de la cámara termográfica en el protocolo de

evaluaciones ha podido alterar los resultados; al distanciar la cámara termográfica para intentar abarcar con una fotografía todas las zonas del miembro inferior, el tobillo se reducía considerablemente en la fotografía perdiendo de esta forma más píxeles y, por lo tanto, información más exacta. Además, la radiación es unidireccional y los resultados dependen del ángulo de la cámara con la que se ha tomado la fotografía, la cual estaba colocada a una altura que formaba un ángulo mayor de 60° con los tobillos y esto ha podido influenciar en los valores registrados (Watmough & Oliver, 1969).

De forma general, en nuestro estudio las asimetrías térmicas entre las zonas corporales en función de su lateralidad o dominancia van desde 0,01 a 0,11°C, es decir, si realizamos un promedio de todas las diferencias registradas obtenemos una diferencia de medias promedio de  $0,06 \pm 0,16^\circ\text{C}$ . Estos resultados están muy por debajo de los encontrados en la literatura, algo lógico pues los futbolistas estudiados estaban en un estado de forma excepcional y tienen unos requerimientos máximos en los entrenamientos; cualquier desequilibrio, que en muchas personas normales pasaría desapercibido, en ellos podría desembocar en una lesión a corto o medio plazo.

Las primeras investigaciones (Draper & Boag, 1971; Watmough, Fowler, & Oliver, 1970) establecieron el límite superior de normalidad entre 2-3°C de diferencia. Una década más tarde, estudios como el de Uematsu (1985) y Feldman (1984) establecieron el límite superior de normalidad en menos de 1°C. En el caso de Feldman la técnica utilizada en el estudio fue la termografía por contacto y sólo fueron valoradas las extremidades superiores, en el caso de Uematsu el valor se aplicó independientemente de la zona corporal examinada y el estudio se realizó con pacientes con dolor crónico. Este último autor, unos años más tarde en su artículo: "Quantification of thermal asymmetry" (Uematsu et al., 1988) estableció el límite general por debajo de 0,5°C y, más concretamente, en la piernas de  $0,27 \pm 0,2^\circ\text{C}$ . En la discusión de dicho artículo informa que la cámara termográfica y los sistemas informáticos de análisis utilizados en sus investigaciones anteriores eran menos sofisticados que los usados en este estudio.

Otros estudios (Hsing-Hua et al., 2001) coinciden con el valor aportado por Uematsu de 0,5°C, pero los estudios más recientes se alejan ligeramente más de este

dato. Los estudios de Vardasca y colaboradores (2008; 2007) establecen valores límites de asimetría normal en  $0,19^{\circ}\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  para todo el cuerpo y en  $0,16^{\circ}\pm 0,15^{\circ}\text{C}$  para regiones corporales, valores muy cercanos a los establecidos en nuestro estudio.

Está claro que la evolución tecnológica de las cámaras termográficas y la calidad de éstas pueden influir significativamente en la precisión y fiabilidad de datos de temperatura obtenidos. En nuestro estudio utilizamos una de las cámaras más potentes del mercado en su momento y realizamos un estudio piloto antes para determinar los valores de asimetría que nos guiaron en el estudio (Gómez, Sillero, Noya, & Fernández, 2010; Gómez et al., 2009; Gómez et al., 2008a; Sillero et al., 2009).

#### **5.10. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DE LA SALA DE EVALUACIÓN SOBRE LA TEMPERATURA REGISTRADA POR LA CÁMARA TERMOGRÁFICA**

Las evaluaciones termográficas realizadas en los distintos bloques de temperatura de la sala ( $18^{\circ}\text{-}21^{\circ}\text{C}$  /  $22^{\circ}\text{-}24^{\circ}\text{C}$  /  $25^{\circ}\text{-}31^{\circ}$ ) obtienen una media diferente ( $p<0,05$ ) en la temperatura registrada por la cámara en cada una de las zonas corporales, exceptuando tobillos, tras realizar el ANOVA de un factor y el post hoc HSD de Tukey. Además, el coeficiente de correlación bivariado entre los tres parámetros ambientales registrados nos informa del grado de ganancia que podemos obtener al predecir una variable basándonos en el conocimiento que tenemos de la otra. En el caso de la temperatura con la presión atmosférica de la sala, el coeficiente de correlación es del  $r=0,56$ , el de la temperatura de la sala con la humedad es de  $r=0,12$ , y el de la presión atmosférica con la humedad es  $r=0,59$ . Según estos resultados, podríamos decir que con el valor de temperatura de la sala podríamos predecir la presión atmosférica de la sala pero, por el contrario, no lo podríamos predecir con la humedad de la sala, al menos dentro de los rangos de condiciones ambientales en los que se realizaron los registros en este estudio.

Con los datos de nuestro estudio podemos decir que el factor ambiental que mayor relación y, por lo tanto, mayor influencia tiene sobre la temperatura corporal registrada por la cámara termográfica es la temperatura de la sala, con un nivel de

significación de  $<0,01$ . El siguiente factor ambiental que posee relación significativa ( $p<0,05$ ) con la temperatura corporal es la presión atmosférica, reduciéndose sus valores de relación en casi la mitad si lo comparamos con los de la variable de temperatura de la sala. Por último, destacar que la humedad no posee ninguna relación significativa con la temperatura de las zonas corporales dentro de los valores registrados (28 a 55%) y, por lo tanto, parece que su influencia sobre ésta es mínima.

No encontramos en la literatura estudios que sigan una metodología similar al nuestro, y, por ello, comparar los resultados resulta difícil. Algunos estudios como el de Demachi y colaboradores (2011) correlacionan la temperatura superficial de la piel del antebrazo, esofágica y músculos profundos durante el ejercicio a 21°C y 31°C mediante otro tipo de técnicas que no es la TI sin contacto. Otros estudios como el de Reinikainen & Jaakkola (2003) investigan la relación entre los factores ambientales de oficina (temperatura entre 18° y 26°C y humedad relativa entre 17 a 40%) y los síntomas físicos (nasales, oculares y de la piel) que estos generan. Por otro lado, Gazerani & Arendt-Nielsen (2011) estudia que a través de focos de calor sobre la piel de 39°-41°-43° se producen hipertermias cutáneas localizadas. Pero en definitiva, todos los estudios anteriores, con una metodología u otra, concluyen que un aumento de la temperatura de la sala o del ambiente, influye de forma significativa en el aumento de la temperatura del cuerpo o de la piel como respuesta de la termorregulación, más que cualquier otro factor de ambiente.

Por otro lado, encontramos artículos más específicos de TI sin contacto que hablan de la influencia que tiene la temperatura de la sala sobre la temperatura corporal y aconsejan que las evaluaciones se realicen entre 18° y 25°C (IACT, 2002; Ring & Ammer, 2000), pero estos artículos no referencian ni profundizan más sobre este tema. Incluso Ammer (2005) en su artículo concluye que tiene mayor influencia la temperatura de la sala que los píxeles (o sea, cantidad de mediciones) de la cámara termográfica.

Por último, al desarrollar nuestro estudio en diferentes condiciones ambientes y considerando que la media de los diferentes jugadores del equipo se debe de mantener estable a lo largo de todos los registros realizados, hemos obtenido en el apartado de

resultados rectas de regresión capaces de determinar con gran precisión ( $R^2$  rondando y superando en muchos casos el valor 0,90) la variación de la temperatura registrada a nivel de la piel en las diferentes zonas del cuerpo debido a la temperatura ambiente de la sala de evaluación en el rango que va de los 18,0 a los 31,8°C.

La fórmula que hemos calculado por regresión lineal demuestra que la influencia de la temperatura de sala ( $T_S$ ) sobre la temperatura registrada por termografía infrarroja ( $T_C$ ) es lineal y directa, y que para valores inferiores a 23°C tiene una mayor capacidad de predicción que para valores superiores a 23°C ( $r_{<23}=0,95$ ;  $R^2_{<23}=0,89$ ), aunque en éste segundo caso la capacidad de predicción es aun bastante buena ( $r_{>23}=0,86$ ;  $R^2_{>23}=0,75$ ).

Por supuesto, este desarrollo teórico es una propuesta que se debería reproducir con datos más fiables procedentes de un estudio específico con un mismo grupo de sujetos en condiciones completamente controladas.

## **6. CONCLUSIONES**



## **6. CONCLUSIONES**

Las conclusiones que se derivan de la consecución de los objetivos principales y secundarios de este trabajo son las siguientes:

### **6.1. CONCLUSIONES DEL OBJETIVO PRINCIPAL 1º Y DE SUS SECUNDARIOS**

Las conclusiones del objetivo 1, que hacen referencia a los datos descriptivos de las lesiones padecidas en la pretemporada 2008, son los siguientes:

#### **Conclusiones del objetivo “1a” del presente trabajo, (ver página 103):**

- La plantilla profesional de fútbol analizada durante la pretemporada 2008, tuvo una exposición total de 1815 horas de práctica deportiva, de las cuales 1683 horas fueron destinadas a los entrenamientos y 132 horas a la competición.

#### **Conclusiones del objetivo “1b” del presente trabajo, (ver página 103):**

- Durante el tiempo de exposición a la práctica deportiva en la pretemporada 2008 se produjeron un total de 15 lesiones, de las cuales el 73,3% se sucedieron en entrenamiento y el 26,7% en competición, manteniéndose de esta forma una relación equitativa entre el tiempo de exposición y frecuencia de lesión.

#### **Conclusiones del objetivo “1c” del presente trabajo, (ver página 104):**

- Los valores de incidencia de lesión durante la pretemporada 2008 se asemejan a los encontrados en la literatura durante este periodo de la

temporada (7,2 les./1000h.), siendo superiores en competición (30,3 les./1000h) que en entrenamiento (6,5 les./1000h.).

- La probabilidad de sufrir una lesión fue del 85%, siendo la probabilidad mayor en la pierna dominante (66,7%) frente a la no dominante (33,3%).
- En función de la localización de las lesiones, el muslo fue, con un 53,3% de todas las lesiones, la región corporal más afectada. Además, el 62,5% de las lesiones se localizaron en la región anterior del muslo y el 37,5% en la región posterior.
- En función de la tipología de las lesiones, las lesiones musculares fueron las más frecuentes con un 66,7% de los casos, seguida de las lesiones tendinosas con un 20,0%.
- Dentro de las lesiones musculares, las sobrecargas fueron la tipología de mayor frecuencia con el 60% de los casos, seguidas de las roturas musculares con el 40% de los casos.
- Los mecanismos de lesión sin contacto o por sobrecarga fueron más frecuentes (86,7%) que los de contacto (13,3%).
- La frecuencia de lesión fue inversamente proporcional a la severidad de la lesión, es decir, mayor frecuencia de lesión cuanto menor fue la severidad de la lesión.
- Por último, los días de baja causados por todas las lesiones ascendieron a 156 días, con un promedio de  $10,4 \pm 11,0$  días de baja por lesión.

## **6.2. CONCLUSIONS OF MAIN OBJECTIVE 1° AND OF THEIR SECONDARY**

The findings about objective 1, which refer to the descriptive data of the pre-season injuries in 2008, are as follows:

**Conclusions about objective "1a" (see page 103):**

- The professional soccer team analyzed in preseason 2008, had a total exposure time to play of 1815 hours, of which 1683 hours were allocated to training and 132 hours to competition.

**Conclusions about objective "1b" (see page 103):**

- During the time of exposure to soccer in the preseason 2008 there were a total of 15 lesions, of which 73.3% occurred in training and 26.7% in competition, thus maintaining an equitable relationship between the exposure time and frequency of injury.

**Conclusions about objective "1c" (see page 104):**

- The incidence rates of injury during the 2008 preseason resemble those found in the literature during this period of the season (7.2 les./1000h.), being higher in competition (30.3 les./1000h) than in training (6.5 les./1000h.).
- The probability of injury was 85% more likely to be the dominant leg (66.7%) versus non-dominant (33.3%).
- Depending on the location of the injuries, the thigh was by 53.3% of all injuries, the most affected body part. In addition, 62.5% of lesions were located in the anterior thigh and 37.5% in the posterior region.
- Depending on the type of injuries, muscle injuries were the most frequent with 66.7% of cases, followed by tendon injuries with 20.0%.
- Within muscle injuries, overloads were the most frequent type with 60% of cases, followed by muscle tears with 40% of cases.
- The non-contact mechanisms of injury were more frequent (86.7%) than contact (13.3%).

- The non-contact mechanisms of injury or stress were more frequent (86.7%) than contact (13.3%).
- The frequency of injury was inversely proportional to the severity of the injury, (i.e., the greater frequency of injury, the lower was the severity of the injury).
- Finally, leave days caused for all injuries were 156 days, with an average of  $10.4 \pm 11.0$  days lost per injury.

### **6.3. CONCLUSIONES DEL OBJETIVO PRINCIPAL 2º Y DE SUS SECUNDARIOS**

Las conclusiones del objetivo 2, que hacen referencia a las características térmicas del miembro inferior de los jugadores de fútbol profesional, son los siguientes:

#### **Conclusiones del objetivo “2a”, (ver página 104):**

- El perfil térmico de los jugadores en función de su lateralidad y dominancia guarda una gran similitud tanto en sus temperaturas medias como máximas.
- De todas las zonas corporales estudiadas, aquellas con un promedio de temperatura máxima o media más elevada son la lumbar y el poplíteo.
- Las zonas corporales estudiadas con un promedio de temperatura máxima o media más baja que el resto corresponden a las articulaciones de los tobillos y las rodillas.
- Existe una simetría entre las temperaturas medias obtenidas para la parte dominante y no dominante -también para la derecha e izquierda- en todas las zonas corporales estudiadas, exceptuando el tobillo.
- El promedio de todas las diferencias de medias registradas en las zonas corporales es de  $0,06 \pm 0,16^\circ\text{C}$ .

- Teniendo en cuenta las diferencias de medias y las desviaciones típicas en cada una de las zonas corporales, mantenemos en 0,3°C el límite superior de normalidad de diferencia asimétrica para todas las zonas corporales (excepto en los tobillos).

**Conclusiones del objetivo “2b”, (ver página 104):**

- El parámetro ambiental que más influye en la temperatura registrada por la cámara termográfica es la temperatura de la sala con un coeficiente de correlación cercano a  $r=1$ , seguido de la presión atmosférica con un coeficiente de correlación cercano a  $r=0,50$ . Por otro lado, en los rangos del 28 al 55 %, la humedad no guarda ningún tipo de relación con la temperatura registrada por la cámara. Además, existen diferencias en las temperaturas registradas de cada zona corporal, exceptuando el tobillo, entre cada uno de los tres grupos de temperatura de sala estudiados.
- Existe una relación directa significativa entre todas las variables de temperatura de las diferentes zonas corporales, tanto máximas como medias, y temperatura de la sala de evaluación. Los valores más bajos de bondad de ajuste ( $R^2$ ) son en tobillos y rodillas.

**Conclusiones del objetivo “2c”, (ver página 104):**

- Se propone la ecuación;  $T_{C-estandar} = T_{C-real} - [0,184 * (T_S - 21^{\circ}C)]$  para predecir y corregir la influencia de la temperatura ambiente sobre la temperatura registrada por la cámara termográfica.

#### **6.4. CONCLUSIONS OF MAIN OBJECTIVE 2° AND OF THEIR SECONDARY**

The findings about objective 2, which refer to the thermal characteristics of the lower limb of professional soccer players, are as follows:

**Conclusions about objective "2a" (see page 104):**

- The thermal profile of the players according to their laterality and dominance have a strong similarity in both their average and maximum temperatures.
- Of all the body areas studied, those with a higher maximum and average temperature are lower back and popliteal.
- The body areas studied with lower average or maximum temperature values are the ankles and knees.
- There is a symmetry between the mean temperatures obtained for the dominant and nondominant side - also for the left and right - on all body areas studied, except for the ankle
- The averaged lateral differences for all the recorded body areas is  $0.06 \pm 0.16$  °C.
- Taking into account the differences in means and standard deviations for each of the areas of the body, we keep in  $0.3$  °C the upper limit of normal asymmetric difference for all body parts (except at the ankles).

**Conclusions about objective "2b" (see page 104):**

- The environmental parameter with the higher influence in the temperature recorded by the thermographic camera is the temperature of the room with a correlation coefficient close to  $r = 1$ , followed by atmospheric pressure with a correlation coefficient close to  $r = 0.50$ . On the other hand, ranges from 28 to 55% humidity does not keep any relation with the temperature recorded by the camera. In addition, there are differences in the temperatures of each body part except the ankle, among each of the three groups studied room temperature.

- There is a significant relationship between all the variables of temperature of different body sites, both maximum and mean, and temperature of the testing room. The lowest values of goodness of fit ( $R^2$ ) are ankles and knees.

**Conclusions about objective "2c" (see page 104):**

- It is proposed the equation  $T_{C-estandar} = T_{C-real} - [0,184 * (T_S - 21^{\circ}C)]$  to predict and correct the influence of temperature recorded by the thermographic camera.

## **6.5. CONCLUSIONES DEL OBJETIVO PRINCIPAL 3º Y DE SUS SECUNDARIOS**

Las conclusiones del objetivo 3, que hacen referencia al análisis de los efectos del protocolo de prevención de lesiones post-ejercicio, basado en la información adquirida de valoraciones con TI, en la incidencia de lesión de un equipo profesional de fútbol durante la pretemporada 2009 comparado con los valores del 2008, son las siguientes:

**Conclusiones del objetivo "3a" del presente trabajo, (ver página 104):**

- La plantilla profesional de fútbol con 24 jugadores durante la pretemporada 2009 tuvo unas características socio-demográficas y una exposición total (1750 horas) y de entrenamiento (162 horas) similar a la de la pretemporada 2008. En cambio, la exposición a competición fue significativamente superior en el 2009.

**Conclusiones del objetivo "3b" del presente trabajo, (ver página 104):**

- Aún con un tiempo de exposición similar en ambas pretemporadas, en 2009 se produjeron un total de 6 lesiones, el 83,3% se sucedieron en entrenamiento y el 16,7% en competición. La proporción de lesiones en

entrenamiento y competición entre la pretemporada 2008 y 2009 se mantuvo homogénea, pero la frecuencia de lesión en esta última temporada, donde se incorporó la TI dentro del protocolo de prevención, se redujo significativamente en un 60%.

**Conclusiones del objetivo “3c” del presente trabajo, (ver página 104):**

- Al igual que ocurre en 2008, la incidencia de lesión en el 2009 es superior durante la competición (6,8 les./1000h) respecto al entrenamiento (3,1 les./1000h.). Pero los valores de incidencia de lesión total obtenidos en la pretemporada 2009 (3,4 les./1000h.) son significativamente inferiores a los obtenidos en la pretemporada 2008.
- La probabilidad de sufrir una lesión durante la pretemporada del 2009 fue del 26%, una reducción del porcentaje en más de la mitad comparado con la pretemporada 2008. Además, en 2009 la probabilidad de sufrir una lesión fue mayor en la pierna no dominante (el 50% de las todas las lesiones) frente a la dominante (el 33,3% de las todas las lesiones), datos opuestos a los encontrados en 2008, siendo este último parámetro el único no coincidente en la distribución de las lesiones con la pretemporada anterior, y en donde no hayamos una explicación clara.
- En función de la localización de las lesiones, el muslo fue la región corporal más afectada durante la pretemporada 2009 con un 33,3% de todas las lesiones, al igual que ocurrió en 2008 y suele ocurrir en el resto de la literatura. A su vez dentro del muslo, en ambas pretemporadas se produjo un mayor número de lesiones en la región anterior que posterior. En el caso del 2009 el 100% de las lesiones se localizaron en la región anterior y ninguna en la región posterior.
- En función de la tipología de las lesiones, en la pretemporada 2009, como ocurrió en 2008, las lesiones musculares, con un 50% de los casos, fueron las más frecuentes.

- En la pretemporada 2009 se redujo un 70% las lesiones de carácter muscular en comparación con el 2008.
- Dentro de las lesiones musculares, tanto en la pretemporada 2008 como en la 2009, las sobrecargas fueron la tipología de mayor frecuencia. En el caso del 2009 no hubo ninguna rotura muscular y todas las lesiones musculares fueron sobrecargas.
- La distribución de porcentajes en relación al mecanismo de lesión fue homogénea en ambas pretemporadas. En la pretemporada 2009, al igual que ocurrió en el 2008, las lesiones sin contacto o sobrecarga se dieron con más frecuencia (83,3%) que las lesiones con contacto (16,7%).
- En ambas pretemporadas la frecuencia de lesión fue inversamente proporcional a la severidad de la lesión, es decir, mayor frecuencia de lesión, cuanto menor fue la severidad de la lesión.
- Los días de baja causados por las lesiones registradas en el 2009 ascendieron a un total de 14 días, un 91,8% menos que los registrados en 2008, con un promedio de  $2,3 \pm 2,8$  días de baja por lesión.

Para finalizar, tras los resultados obtenidos podemos concluir que el número e incidencia de lesiones, y con ello los días de baja, se reducen significativamente durante la pretemporada 2009 en la cual se aplicó el protocolo de prevención de lesiones basado en TI. De esta forma podemos aceptar la hipótesis del estudio y afirmar que “la aplicación de un protocolo de prevención de lesiones post-ejercicio basado en la información adquirida a través de valoraciones con TI reduce la incidencia de lesión en el grupo de futbolistas profesionales estudiados”, sobretodo cuando observamos que la distribución de las lesiones en los diferentes parámetros estudiados (frecuencia e incidencia en entrenamiento-competición, localización, tipología, mecanismo, etc) mantiene una similitud y coherencia entre ambas pretemporadas y la literatura revisada.

Tenemos que ser conscientes que nos encontramos ante un estudio de campo, donde existen muchos factores personales de cada sujeto y deportivos del equipo que han podido influenciar en los resultados y que son difíciles de controlar. Por lo tanto,

debemos ser cautos y concluir que la información adquirida de las evaluaciones termográficas ha sido uno de los aspectos que ayudó a la reducción significativa de la incidencia de lesión en la pretemporada 2009 en el equipo de fútbol profesional español, pero que seguramente hayan podido existir otros factores que también hayan favorecido este hecho.

## **6.6. CONCLUSIONS OF MAIN OBJECTIVE 3° AND OF THEIR SECONDARY**

The findings of Objective 3, which refer to the analysis of the effects of the post-exercise injury prevention protocol, based on information obtained from assessments with IT, in the incidence of injury of a professional soccer team during 2009 preseason compared with the values of 2008 preseason are the following:

### **Conclusions about objective "3a" (see page 104):**

- The 24 professional soccer players during the 2009 preseason had socio-demographic characteristics, and total exposure (1750 hours) and training (162 hours), similar to that of the 2008 preseason. In contrast, exposure to competition was significantly higher in 2009.

### **Conclusions about objective "3b" (see page 104):**

- Even with a similar exposure time in both preseason, in 2009 there were a total of 6 lesions, 83.3% succeeded in training and 16.7% in competition. The proportion of injuries in training and competition between 2008 and 2009 preseason remained homogeneous, but the frequency of injury in last season, where IT was incorporated in the prevention protocol, was significantly reduced by 60%.

**Conclusions about objective "3c" (see page 104):**

- As in 2008, the incidence of injury in 2009 was higher during the competition (6.8 les./1000h) regarding the training (3.1 les./1000h.). But the values of total injury incidence obtained in the 2009 preseason (3.4 les./1000h.) were significantly lower than those obtained in the 2008 preseason.
- The likelihood of injury during the 2009 preseason was 26%, that means a percentage reduction higher than 50% compared to the 2008 preseason. Furthermore, in 2009 the probability of injury was greater in the non-dominant leg (50% of all injuries) against the dominant (33.3% of all injuries), data opposite to those found in 2008, the latter being the only parameter mismatch in the distribution of the lesions with the previous season, and where we have no clear explanation
- Depending on the location of the injuries, the thigh was the most affected body part during the 2009 preseason with 33.3% of all injuries, as occurred in 2008 and appears to occur in the rest of the literature. Considering only the thigh injuries, in both preseasons the registered a largest number of lesions in the anterior region that in the posterior. In the case of 2009, 100% of the lesions were located in the anterior region and none in the posterior region.
- Depending on the type of injuries in the 2009 preseason, as in 2008, muscle injuries, with 50% of cases were the most frequent injuries.
- In the season 2009 it was reduced by 70% muscle injuries compared to 2008.
- Within muscle injuries in both the 2008 and the 2009 preseasons, overloads were the most frequent type. In the case of 2009 preseason, there was no muscle tear and all the muscle injuries were overloads.
- The percentage distribution in relation to the mechanism of injury was consistent in both preseasons. In the 2009 preseason, as happened in 2008,

non-contact injuries or overuse occurred more frequently (83.3%) than contact lesions (16.7%).

- In both preseasons frequency of injury was inversely proportional to the severity of the injury (ie, the higher frequency of injury, the lower was the severity of the injury).
- The days lost due to the injuries recorded in 2009 totaled 14 days, 91.8% less than in 2008, with an average of  $2.3 \pm 2.8$  days lost per injury.

Finally, after the results we can conclude that the number and incidence of injury, and thus leave days are significantly reduced during the 2009 preseason in which the protocol based injury prevention in IT was applied. So that, we can accept the hypothesis of the study and stating that "the implementation of a protocol to prevent post-exercise injury based on information obtained from assessments with infrared thermography reduces the incidence of injury in professional soccer players", especially when we note that distribution of lesions in the studied parameters (frequency and impact on training, competition, location, type, mechanism, etc.) has a similarity and coherence between the two preseasons and the reviewed literature.

We must be aware that we are facing a field study, where there are many individual and collective factors that have been able to influence the results which are difficult to control. Therefore, we must be cautious and conclude that the information provided by the thermographic evaluation has been one of the aspects that helped to significantly reduce the incidence of injury in the preseason 2009 in the Spanish professional football team, but probably they could exist other factors with a positive effect on this fact.

## **7. LIMITACIONES DEL ESTUDIO**



## 7. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Tras la experiencia acumulada durante el desarrollo de la toma de datos, las dificultades planteadas en el mismo, el análisis y la discusión de los resultados, podemos tener una visión crítica del trabajo, de la cual se desprenden las principales limitaciones detectadas, que enunciaremos a continuación:

- La meta del trabajo era aplicar la experiencia acumulada en equipos de fútbol de menor categoría y en otros deportistas de alto nivel en un equipo de fútbol profesional en una de las mejores ligas del mundo. Debido a lo intrincado del mundo del fútbol y a la gran cantidad de intereses que se mueven en el mismo, no siempre se pudo desarrollar el trabajo en las condiciones que se hubiera querido, realizando adaptaciones para que el equipo técnico, médico, los directivos del club, incluso los jugadores, no tuvieran ningún reparo para llevar a cabo la intervención. En cualquier caso, pensamos que la toma de datos se ha hecho con un rigor suficiente como para que los datos sean válidos y que sirvan como referencia para estudios posteriores. Agradecemos inmensamente toda la colaboración prestada por todos los miembros del equipo, que mantenemos en anonimato según fue su deseo.
- Mantener constante en todas las evaluaciones la temperatura de la sala. Una de las adaptaciones que tuvimos que realizar fue la temperatura de la sala. Como hemos expresado anteriormente, estudios indican que la temperatura óptima de la sala para realizar una evaluación termográfica está entre los 18° y los 24°C. En nuestro estudio hubo ocho tomas que se salieron de los valores recomendados y el resto fluctuaron por dicho rango. En cualquier caso las condiciones de la sala fueron esas y no se podían cambiar, pues el equipo de fútbol desarrolló la pretemporada en lugares distintos, con climas e instalaciones muy diversas, donde no se pudo contralar la temperatura de la sala en todos los casos.

- Al ser nuestro trabajo un estudio de campo, no se puede conseguir que las condiciones de las tomas sean las del laboratorio, por lo que controlar algunos factores personales o deportivos con un equipo de fútbol profesional se hace más difícil que cuando se trabaja con sujetos voluntarios, donde todo está perfectamente delimitado. En cualquier caso, la colaboración por parte de los jugadores, técnicos y club fue máxima y el hecho de estar concentrados en un hotel, con las horas de sueño, las comidas y los entrenamientos perfectamente controlados hace que los resultados sean muy aceptables en este aspecto.
- Dentro del diseño experimental del estudio, lo ideal hubiera sido utilizar un segundo equipo de fútbol profesional como grupo control y realizar las evaluaciones termográficas a uno de ellos y al otro no. Sin embargo, actuando de esta forma, algunos factores importantes no los hubiésemos podido controlar como, por ejemplo, la metodología y condiciones de entrenamiento, las características de los jugadores, etc. En este caso, se hubieran producido condiciones muy diferentes en ambos grupos de trabajo, por lo que la comparación de resultados no hubiese sido lo más adecuada. Como solución, se optó en este caso por utilizar el mismo equipo el año anterior como grupo de control, una adaptación que tiene sus limitaciones y que por eso se cita en este apartado.
- El utilizar el equipo del año anterior como grupo de control implicó que la plantilla se renovara, por la que alguno de los jugadores se fueron y entraron otros nuevos. En cualquier caso, el hecho de que 15 fueran los mismos y que el equipo técnico y los lugares de entrenamiento se mantuvieran, reduce en gran medida las deficiencias que hayan podido surgir de esta decisión.
- Una muestra de 33 jugadores es relativamente pequeña para sacar conclusiones generales extrapolables a todos los jugadores de fútbol profesional. Esperamos que los resultados de este estudio den pie a proyectos de investigación más potentes para poder disponer de datos que reafirmen las ventajas de utilizar termografía infrarroja como medio de

información en los protocolos de prevención y seguimiento de lesiones deportivas, incluso en otros deportes y a otros ámbitos.

- La termografía aplicada a humanos tiene una limitación técnica debido a que cuando la información procede de superficies que tienen una desviación superior a 60° respecto al eje de colocación de la cámara, la superficie está irradiando en una dirección significativamente distinta a la de la posición de la cámara. Esto hace que los resultados de los bordes de la figura corporal sean inferiores a los reales y deban de ser tomados con cautela. En cualquier caso, dicho error es siempre el mismo, por lo que en trabajos de seguimiento como el nuestro tampoco tiene tanta influencia.
- El protocolo de toma de las fotografías hace que los tobillos tengan pocos píxeles para recoger información. Esto, unido a lo expresado en el punto anterior, que tiene especial relevancia en la zona de los tobillos, hace que los resultados de los tobillos tengan una gran variabilidad. Quizás sea esta la razón de la discrepancia de los resultados de los tobillos con respecto a los del resto de las zonas corporales estudiadas. Si se hubiera realizado una toma específica de tobillos con una toma lateral, quizás los resultados hubiesen sido más interesantes; sin embargo, el tiempo necesitado para realizar dichas tomas, habría significado un incremento del mismo en la toma de datos, repercutiendo negativamente en la colaboración de los jugadores y del equipo técnico durante la toma de datos.



## **8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**



## 8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Del desarrollo del presente trabajo han surgido nuevas ideas y líneas de investigación dirigidas a incrementar el conocimiento de la utilización de la información procedente de la termografía infraroja en la cuantificación de la asimilación de la carga de ejercicio físico, la prevención y el seguimiento de lesiones en seres humanos:

- Realizar un estudio estadístico más profundo con los 15 jugadores que se mantuvieron durante las dos pretemporadas.
- Se debería ampliar la investigación del uso de la TI para la prevención de lesiones no sólo en otros deportes y en otras categorías que no sean profesionales, sino también en otros ámbitos de la actividad física del ser humano.
- Pensamos que se podría utilizar la termografía para cuantificar los efectos de las cargas de trabajo y la asimilación de las mismas durante el periodo de recuperación. Para ello se debieran de cuantificar los efectos de las diferentes formas o métodos de trabajo, a diferentes volúmenes e intensidades de trabajo, y evaluar la efectividad de los diferentes medios de recuperación tras del ejercicio o la actividad física moderada o alta.
- Profundizar en el estudio de los factores que pueden afectar a los resultados de una valoración termográfica, sobretodo factores procedentes del ámbito deportivo.
- Desarrollar una herramienta informática especializada para analizar las fotografías termográficas de cuerpos humanos.



## **9. REFERENCIAS**



## 9. REFERENCIAS

- AEMEF. (2010). Protocolo de reconocimiento médico en los fichajes de futbolistas profesionales [Electronic Version]. Retrieved 13/03/2011,
- Ahmaidi, S., Granier, P., & Taoutaou, Z. (1996). Effect of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 450-456.
- Akkurt, D. (2009). Nicotine and elevated body temperature reduce the complexity of the genioglossus and diaphragm EMG signals in rats during early maturation. *J Neural Eng*, 6(5), 1-8.
- Ammer, K. (1995). Low muscular activity of the lower leg in patients with a painful ankle. *Thermol Österr*(5), 103-107.
- Ammer, K. (1996). Occurrence of hyperthermia after ice massage. *Thermol Österr*(6), 17-20.
- Ammer, K. (1997). The influence of antirheumatic creams and ointments on the infrared emission of the skin. In I. Benkö, A. Balogh, I. Kovacsics & I. Lovak (Eds.), *Abstracts of the 10th International Conference on Thermogrammetry and Thermal engineering in Budapest 18-20th June 1997* (pp. 177-181). Budapest: MATE.
- Ammer, K. (2005). Temperature readings from thermal images are less dependent on the number of pixels of the measurement area than on variation of room temperature. *Thermology international*, 15, 131-133.
- Ammer, K. (2008). The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body *Thermology International*, 18(4), 125-129.
- Anbar, M. (1987). Computerized thermography. The emergence of a new diagnostic imaging modality. *Int J Technol Assess Health Care*, 3(4), 613-621.
- Andersen, Arnason, Engebretsen, & Bahr. (2004). Mechanisms of head injuries in elite football. *Br J Sports Med*, 38(6), 690-696.

- Andersen, Floerenes, Arnason, & Bahr. (2004). Video analysis of the mechanisms for ankle injuries in football. *Am J Sports Med*, 32(1 Suppl), 69S-79S.
- Andersen, Tenga, Engebretsen, & Bahr. (2004). Video analysis of injuries and incidents in Norwegian professional football. *Br J Sports Med*, 38(5), 626-631.
- Andersen, & Williams. (1988). A model of stress and athletic injury: Prediction and prevention. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 10, 294-306.
- Andersen, & Williams. (1993). Psychological risk factors and injury prevention. In J. Heil (Ed.), *The sport psychology of injury* (pp. 49-57). Champaign: Human Kinetics.
- Arent, S. M., Pellegrino, J. K., Williams, C. A., Difabio, D. A., & Greenwood, J. C. (2010). Nutritional supplementation, performance, and oxidative stress in college soccer players. *J Strength Cond Res*, 24(4), 1117-1124.
- Arjol, J. L. (2009). La prevención de lesiones desde la óptica del acondicionamiento físico del futbolista. Unpublished Apuntes del Master Universitario en prevención y readaptación de lesiones deportiva en el fútbol. RFEF-UCLM-COE.
- Arnason, A., Gudmundsson, A., Dahl, H. A., & Johannsson, E. (1996). Soccer injuries in Iceland. *Scand J Med Sci Sports*, 6(1), 40-45.
- Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004a). Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med Sci Sports Exerc*, 36(2), 278-285.
- Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004b). Risk factors for injuries in football. *Am J Sports Med*, 32(1 Suppl), 5S-16S.
- ASEPEYO. (2005). Confort Térmico. Retrieved 14-06-2011, 2011, from <http://www.asepeyo.es>
- Askling, C., Karlsson, J., & Thorstensson, A. (2003). Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports*, 13(4), 244-250.

- Astarita, T., Cardone, G., & Carlomagno, G. M. (2005). Infrared thermography: An optical method in heat transfer and fluid flow visualisation. *Optics and Lasers in Engineering*, 44(3-4), 261-281.
- Autio, E., Neste, R., Airaksinen, S., & Heiskanen, M. L. (2006). Measuring the heat loss in horses in different seasons by infrared thermography. *J Appl Anim Welf Sci*, 9(3), 211-221.
- Avdelidis, N. P., & Moropoulou, A. (2004). Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures. *Journal of Cultural Heritage*, 5(1), 119-127.
- Avdelidis, N. P., Moropoulou, A., & Theoulakis, P. (2003). Detection of water deposits and movement in porous materials by infrared imaging. *Infrared Physics & Technology*, 44, 183-190.
- Bahr, R., & Holme, I. (2003). Risk factors for sports injuries a methodological approach. *Br J Sports Med*, 37(5), 384-392.
- Bailey, D., Erith, S., Griffin, P., Dowson, A., Brewer, D., Gant, N., et al. (2007). Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle run. *J Sports Sci*, 25, 1163-1170.
- Bairi, A., J.M. García de María and N. Laraqi. (2007). Thermal diffusivity measurements of building materials based on 2D models. *Computational Materials Science*, 38, 838-846.
- Balageas, D. L. (2007, octubre 2007). *Termografía infrarroja: una técnica multifacética para la Evaluación No Destructiva (END)*. Paper presented at the IV Conferencia Panamericana de Ensayos No Destructivos END, Buenos Aires.
- Balaguer, I. (1994). *Entrenamiento psicológico en el deporte: principios y aplicaciones*. Valencia: Albatros.
- Balaras, C. A., & Argiriou, A. A. (2002). Infrared thermography for building diagnostics. *Energy and Buildings*, 34, 171-183.
- Baldari, C., Videira, M., Madeira, F., Sergio, J., & Guidetti, L. (2004). Lactate removal during active recovery related to the individual anaerobic and ventilatory thresholds in soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 93, 224-230.

- Banfi, G., Melegati, G., & Valentini, P. (2007). Effects of cold-water immersion of legs after training session on serum creatine kinase concentrations in rugby players. *Br J Sports Med*, *41*, 339.
- Bangsbo, J. (1994). *Physiological demands*. London: Blackwell.
- Barnett, A. (2006). Using recovery modalities between training sessions in elite athletes. Does it help? *Sports Medicine*, *36*(9), 781-796.
- BenElياهو, D. (1990). Infrared thermography in the diagnosis and management of sports injuries: a clinical study and literature review. *Chiropractic Sports Medicine*, *4*(2), 46-53.
- BenElياهو, D. (1992). Infrared thermography and the sports injury practice. *Dynamic Chiropractic*, *10*(7).
- Benito Peinado, P. J. (2008). *Conceptos básicos del entrenamiento con cargas: de la musculación al wellness*. Madrid: Kinesis.
- Bernardot, D., Ruiz Gabás, F., & Berrocal Domínguez, S. (2001). *Nutrición para deportistas de alto nivel*: Hispano Europea S.A.
- Berz, R., & Sauer, H. (2007). *The medical use of Infrared-Thermography; History and recent applications*. Paper presented at the Thermographie Kolloquium. Retrieved 2009/11/12,
- Best, T., Hunter, R., Wilcox, A., & Haq, F. (2008). Effectiveness of sports massage for recovery of skeletal muscle from strenuous exercise. *Clin J Sport Med*, *18*(5), 446-460.
- Blaser, K. U., & Aeschlimann, A. (1992). Accidental injuries in soccer. *Schweiz Z Sportmed*, *40*(1), 7-11.
- Bompa, T. (1994). Recovery following training and competition. In Calcina (Ed.), *Theory and methodology of training. The Key to athletic performance* (3 ed., pp. 115-126). Iowa: Kendall Hunt Publishing Company.
- Bosak, A., Bishop, P., Smith, J., Green, M., Richardson, M., & Iosia, M. (2006). Impact of cold water immersion on 5km racing performance. *Med Sci Sports Exerc*, *38*, S233.

- Brockett, C., Morgan, D., & Proske, U. (2001). Human hamstrings muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(5), 783 - 790.
- Burke, L. M., Loucks, A. B., & Broad, N. (2006). Energy and carbohydrate for training and recovery. *Journal of Sports Sciences*, 24, 675-685.
- Busoni, F., Romagnoli, C., Bagnolesi, P., & Gemignani, G. (1988). Echography and computerized telethermography. *Radiology Medical.*, 76(1-2), 44-47.
- Calder, A. (2003). Recovery strategies for Sports performance. *USOC Olympic Coach E-Magazine*.
- Cambridgeshire. (2007). Cambridge... the birthplace of football? Retrieved 17/12/2007, from [www.bbc.co.uk](http://www.bbc.co.uk)
- Carlomagno, G. M., Astarita, T., & Cardone, G. (2002). Convective heat transfer and infrared thermography. *Ann N Y Acad Sci*, 972, 177-186.
- Casáis, L. (2005). El entrenamiento de la flexibilidad. Unpublished Apuntes del Master de Preparación Física en el Fútbol. RFEF-UCLM-COE.
- Casáis, L. (2008). Revisión de las estrategias para la prevención de lesiones en el deporte desde la actividad física. *Apuntes de medicina del deporte*, 157, 30-39.
- Casáis, L. (2009). El control de la fatiga y la carga de entrenamiento-competición como factores de riesgo extrínsecos de la recuperación como medida de estrategia de prevención. Unpublished Apuntes del Master Universitario en prevención y readaptación de lesiones deportiva en el fútbol. RFEF-UCLM-COE.
- Cassar, M. (2004). *Handbook of Clinical Massage: A Clinical Guide for Students and Practitioners* (Vol. 2nd). Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Castillo, A., Martínez, E., Liarte, J. P., & Díaz, A. (2004). Estudio en competición sobre el grado de utilización de la pierna no dominante en el fútbol profesional [Electronic Version], Año 10. Retrieved 16-12-2011, from <http://www.efdeportes.com/efd71/pierna.htm>
- CENAM. (2011). Patrón Nacional de Temperatura. Retrieved 11-09-2011, 2011, from [www.cenam.mx/dme/pdf/cnm-pne-2\\_Temperatura.pdf](http://www.cenam.mx/dme/pdf/cnm-pne-2_Temperatura.pdf)

- Cerulli, G., Benoit, D. L., Caraffa, A., & Ponteggia, F. (2001). Proprioceptive training and prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. *J Orthop Sports Phys Ther*, 31(11), 655-660; discussion 661.
- Ciutacu, O., Tanase, A., & Miclaus, I. (2006). Digital infrared thermography in assessing soft tissues injuries on sport equines. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Vol 63, 2006*, 63, 228-233.
- Cochrane, D. (2004). Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: A review. *Phys Ther Sport*, 5, 26-32.
- Coffey, V., Leveritt, M., & Gill, N. (2004). Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. *J Sci Med Sport*, 7, 1-10.
- Čoh, M., & Širok, B. (2007). Use of the thermovision method in sport training. *Physical Education and Sport.*, 5(1), 85-94.
- Connolly, D., Sayers, S., & McHugh, M. (2003). Treatment and prevention of delayed Honest muscle soreness. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 197-208.
- Cowan, R. D. (1963). Pulse method of measuring thermal diffusivity at high temperatures. *Journal of Applied Physics*, 34(4), 926-927.
- Craig, W. (2005). The OmegaWave Sport Technology System [Electronic Version], 1-8. Retrieved 18-03-2011, from:  
[http://www.worksafebc.com/health\\_care\\_providers/Assets/PDF/omegawave.pdf](http://www.worksafebc.com/health_care_providers/Assets/PDF/omegawave.pdf)
- Crozier, A., & Taylor, G. (2001). An audit of injuries in professional football. The football association.
- Chomiak, J., Junge, A., Peterson, L., & Dvorak, J. (2000). Severe injuries in football players. Influencing factors. *Am J Sports Med*, 28(5 Suppl), S58-68.
- Dadebo, B., White, J., & George, K. P. (2004). A survey of flexibility training protocols and hamstring strains in professional football clubs in England. *Br J Sports Med*, 38(4), 388-394.
- Danz, J., & Callies, R. (1978). Thermometrische Untersuchungen bei unterschiedlichen Ultraschallintensitäten. *Physiother*, 30, 235-340.

- Danz, J., & Callies, R. (1979). Infrarothermometrie bei differenzierten Methoden der Niederfrequenztherapie. *Physiother*(31), 35-39.
- Danz, J., & Callies, R. (1981). Einfluß einer abgestuften Vakuumsaugmassage auf die Hauttemperatur. *Physiother*, 33, 85-92.
- Dawson, B., Gow, S., Modra, S., Bishop, D., & Stewart, G. (2005). Effects of immediate post-game recovery procedures on muscle soreness, power and flexibility levels over the next 48 hours. *J Sci Med Sport*, 8, 210-221.
- Demachi, K., Yoshida, T., & Hideyuki, T. (2011). Relationship between mean body temperature calculated by two- or three-compartment models and active cutaneous vasodilation in humans: a comparison between cool and warm environments during leg exercise [Electronic Version]. *Int J Biometeorol*,
- Devereaux, M., Parr, G., Lachmann, S., Page-Thomas, P., & Hazleman, B. (1986). Thermographic diagnosis in athletes with patellofemoral arthralgia. *Journal of Bone and Joint Surgery-(Br)*, 68(1), 42-44.
- Devereaux, M., Parr, G. R., Lachmann, S. M., Page-Thomas, P., & Hazleman, B. L. (1984). The diagnosis of stress fractures in athletes. *JAMA*, 252(4), 531-533.
- Di Carlo, A. (1995). Thermography and the possibilities for its applications in Clinical and experimental dermatology. *Clinics in Dermatology*, 15(6), 29-36.
- Diakides, N. A., & Bronzino, J. D. (2007). *Medical Infrared Imaging*. United States: Taylor & Francis.
- Doménech Massons, J. M. (1999). *Métodos estadísticos en ciencias de la salud. El modelo de investigación científica: Diseño de estudios* (Vol. Unidad didáctica 7). Barcelona: Signo.
- Draper, J., & Boag, J. (1971). The calculation of skin temperature distribution in thermography. *Phys Med Biol*, 16, 201-211.
- Drawer, & Fuller. (2002). Evaluating the level of injury in English professional football using a risk based assessment process. *Br J Sports Med*, 36(6), 446-451.
- Dvorak, J., & Junga, A. (2000). Football injuries and physical symptoms: a review of the literature. *Am J Sports Med.*, 28(3Suppl), s3-s5.

- Dvorak, J., Junge, A., Chomiak, J., Graf-Baumann, T., Peterson, L., Rosch, D., et al. (2000). Risk factor analysis for injuries in football players. Possibilities for a prevention program. *Am J Sports Med*, 28(5 Suppl), S69-74.
- Ekstrand, J. (1982). *Soccer injuries and their prevention.*, Linköping University, Sweden.
- Ekstrand, J., & Gillquist, J. (1982). The frequency of muscle tightness and injuries in soccer players. *Am J Sports Med*, 10(2), 75-78.
- Ekstrand, J., & Gillquist, J. (1983a). The avoidability of soccer injuries. *Int J Sports Med*, 4(2), 124-128.
- Ekstrand, J., & Gillquist, J. (1983b). Soccer injuries and their mechanism: a prospective study. *Med Sci Sports Exerc*, 15, 267-270.
- Ekstrand, J., Gillquist, J., & Liljedahl, S. O. (1983). Prevention of soccer injuries. Supervision by doctor and physiotherapist. *Am J Sports Med*, 11(3), 116-120.
- Ekstrand, J., Hagglund, M., & Walden, M. (2009). Injury incidence and injury patterns in professional football - the UEFA injury study. *Br J Sports Med*.
- Ekstrand, J., Roos, H., & Tropp, H. (1990). Normal course of events amongst Swedish soccer players: an 8-year follow-up study. *Br J Sports Med*, 24(2), 117-119.
- Ekstrand, J., Timpka, T., & Hagglund, M. (2006). Risk of injury in elite football played on artificial turf versus natural grass: a prospective two-cohort study. *Br J Sports Med*, 40(12), 975-980.
- Ekstrand, J., & Tropp, H. (1990). The incidence of ankle sprains in soccer. *Foot Ankle*, 11(1), 41-44.
- Ekstrand, J., Walden, M., & Hagglund, M. (2004a). A congested football calendar and the wellbeing of players: correlation between match exposure of European footballers before the World Cup 2002 and their injuries and performances during that World Cup. *Br J Sports Med*, 38(4), 493-497.
- Ekstrand, J., Walden, M., & Hagglund, M. (2004b). Risk for injury when playing in a national football team. *Scand J Med Sci Sports*, 14(1), 34-38.

- Engström, B., Forssblad, M., Johansson, C., & Tornkvist, H. (1990). Does a major knee injury definitely sideline an elite soccer player? *Am J Sports Med*, 18(1), 101-105.
- Engstrom, B., & Renstrom, P. (1998). How can injuries be prevented in the World Cup soccer athlete? *Clin Sports Med*, 17(4), 755-768, vii.
- Expertfootball. (2007). Historia del fútbol. Retrieved 17/12/2007, from [www.expertfootball.com](http://www.expertfootball.com)
- Faude, O., Junge, A., Kindermann, W., & Dvorak, J. (2005). Injuries in female soccer players: a prospective study in the German national league. *Am J Sports Med*, 33(11), 1694-1700.
- Federspil, G., La Grassa, E., Giordano, F., Macor, C., Presacco, D., & Di Maggio, C. (1989). Studio della termogenesi indotta dalla dieta mediante teletermografia nel soggetto normale e nell'obeso. *Recenti Prog Med*, 80(9), 455-459.
- Feldman, F., & Nickoloff, E. (1984). Normal thermographic standards for the cervical spine and upper extremities. *Skeletal Radiol*, 12, 235-249.
- Fernández de Sousa-Díaz, P. (1993). *Manual del vendaje funcional. Tobillo y pie*. Madrid: Área científica de Menarini.
- Fernández, I. (2009). Proyecto de asesoramiento en "Salud, prevención y rendimiento" para un equipo de fútbol profesional. Unpublished Apuntes del Master Universitario en prevención y readaptación de lesiones deportiva en el fútbol. RFEF-UCLM-COE.
- Fernández, I., Gómez, P. M., & Sillero, M. (2010). Aplicaciones de la termografía al ámbito deportivo. In M. Sillero Quintana & P. M. Gómez Carmona (Eds.), *Termografía deportiva. Curso básico de termografía como medio para la prevención y seguimiento de lesiones*. Madrid: ADELEF.
- Fernández, I., Gómez, P. M., Sillero, M., & Arnaiz, J. (2010, 23th 26th june). *Injury rate evolution in soccer world cups (from USA 1994) and estimation for Southafrica World Cup*. Paper presented at the 15th Annual Congress of the European College of Sport Sciences ECSS Antalya, Turkey, Antalya, Turkey.
- FIFA. (2005). The 11+. Retrieved 29 de Junio 2011, 2011, from <http://www.f-marc.com/11plus/index.html#>

- FIFA. (2006). FIFA Big Count 2006: 270 million people active in football. Retrieved 22 de julio de 2007, from [www.fifa.com](http://www.fifa.com)
- FIFA. (2007). Historia del juego. Retrieved 17/12/2007, from [www.fifa.com](http://www.fifa.com)
- Fletcher, I. M., & Monte-Colombo, M. M. (2010). An investigation into the effects of different warm-up modalities on specific motor skills related to soccer performance. *J Strength Cond Res*, 24(8).
- Forte, D. (2007). Entrenamiento de fuerza y dolor lumbar crónico. In A. Jimenez (Ed.), *Avances en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte: Entrenamiento de Fuerza*. Madrid: ADEMÁS, S.L. UEM.
- Fujimasa, I., Chinzei, T., & Mabuchi, K. (1996). *Development of a Database for Medical Infrared Imaging*. Paper presented at the 18th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Amsterdam.
- Fuller, Dick, Corlette, & Schmalz. (2007). Comparison of the incidence, nature and cause of injuries sustained on grass and new generation artificial turf by male and female football players. Part 1: match injuries. *Br J Sports Med*, 41(Suppl 1), i20-26.
- Fuller, Ekstrand, Junge, Andersen, Bahr, Dvorak, et al. (2006). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *Clin J Sport Med*, 16(2), 97-106.
- Fuller, Smith, Junge, & Dvorak. (2004a). An assessment of player error as an injury causation factor in international football. *Am J Sports Med*, 32(1 Suppl), 28S-35S.
- Fuller, Smith, Junge, & Dvorak. (2004b). The influence of tackle parameters on the propensity for injury in international football. *Am J Sports Med*, 32(1 Suppl), 43S-53S.
- Galindez, I. (2010). Aproximación al riesgo y confort térmico en el trabajo: El calor [Electronic Version], 99, from [www.ergokprevencion.org](http://www.ergokprevencion.org)
- Galloway, S., & Watt, J. (2004). Massage provision by physiotherapists at major athletics events between 1987 and 1998. *Br J Sports Med*, 38, 235-237.

- Garagiola, U., & Giani, E. (1990). Use of telethermography in the management of sports injuries. *Sports Medicine*, 10(4), 267-272.
- Garagiola, U., & Giani, E. (1991). Thermography: Description, Uses in Sports Medicine. Unpublished article by Encyclopedia of Sports Medicine and Science.
- García, E., & Seco, J. (2001). *Masaje deportivo*. Madrid: Gymnos.
- García Manso, J. (1999). *Alto Rendimiento. La adaptación y la excelencia deportiva*. Madrid: Gymnos.
- Gatterer, H., Schenk, K., Ferrari, P., Faulhaber, M., Schopp, E., & Burtscher, M. (2011). Changes in hydration status of soccer players competing in the 2008 European Championship. *J Sports Med Phys Fitness*, 51(1), 89-94.
- Gautherie, M., Haehnel, P., Walter, J. P., & Keith, L. G. (1987). Thermovascular changes associated with in situ and minimal breast cancers. Results of an ongoing prospective study after four years. *J Reprod Med*, 32(11), 833-842.
- Gazerani, P., & Arendt-Nielsen, L. (2011). Cutaneous vasomotor reactions in response to controlled heat applied on various body regions of healthy humans: evaluation of time course and application parameters. *Int J Physiol Pathophysiol Pharmacol*, 3(3), 202-209.
- Gershon-Cohen, J., Borden, A. G., & Hermel, M. B. (1969). Thermography of extremities after smoking. *Br J Radiol*, 42(495), 189-191.
- Gershon-Cohen, J., & Haberman, J. D. (1968). Thermography of smoking. *Arch Environ Health*, 16(5), 637-641.
- Geyer, H., Braun, H., Burke, L. M., Stear, S. J., & Castell, L. M. (2011). A-Z of nutritional supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance--Part 22. *Br J Sports Med*, 45(9), 752-754.
- Giani, E., Rochi, L., Tavoni, A., Montanari, M., & Garagiola, U. (1989). Telethermographic evaluation of NSAIDs in the treatment of sports injuries. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 21(1), 1-6.
- Gleim, & McHugh. (1997). Flexibility and its effects on sports performance and injury. *Sports Medicine*, 24(5), 289-299.

- Goats, G. (1994). Massage the scientific basis of an ancient art: Part 1. The techniques. *Br J Sports Med*, 28, 149-152.
- Gómez, P. M., & Noya, J. (2008). Medidas preventivas para la disminución de la incidencia lesional en futbolistas. *abfutbol*(33), 11.
- Gómez, P. M., Sillero, M., & Fernández, I. (2010). España Patent No. P201031080. Oficina Española de Patentes y Marcas.: UPM.
- Gómez, P. M., Sillero, M., Noya, J., & Fernández, I. (2010). Validación de la termografía infrarroja como método de prevención de lesiones en futbolistas profesionales. *Revista Cultura, Ciencia y Deporte*, 5(13 - Suplemento), 16 Area Actividad Física y Salud.
- Gómez, P. M., Sillero, M., Noya, J., Nuñez, F. J., & Fernandez, I. (2009). *Infrared thermography as a method for monitoring and preventing injuries in soccer*. Paper presented at the 14th Annual Congress of the European Collage of Sport Science, Oslo (Noruega).
- Gómez, P. M., Sillero, M., Noya, J., & Pastrano, R. (2008a, From 18th to 23rd november 2008). *Infrared Thermography as an injury prevention method in soccer*. Paper presented at the XXX FIMS World Congress of Sports Medicine, Barcelona, Spain.
- Gómez, P. M., Sillero, M., Noya, J., & Pastrano, R. (2008b). La termografía como medio de prevención, seguimiento y recuperación de lesiones en futbolistas. *abfutbol*(36), 11.
- González, D. A. (2006). *Contribuciones a las técnicas no destructivas para evaluación y prueba de procesos y materiales basadas en radiaciones infrarrojas*. Universidad de Cantabria, Santander.
- Goodman, C., Peeling, P., Ranchordas, M., Burke, L., Stear, S., & Castell, L. (2011). A to Z of nutritional supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance--Part 21. *Br J Sports Med*, 45(8), 677-679.
- Goodman, P., Foote, J., & Smith, R. (1991). Detection of intentionally produced thermal artifacts by repeated thermographic imaging. *Thermology*(3), 253-260.

- Group, S. M. O. (2008a). MLS Groin Injury Prevention Protocol. Retrieved 26 de Agosto 2008, 2008, from [http://www.training-conditioning.com/pdf/groin\\_injury.pdf](http://www.training-conditioning.com/pdf/groin_injury.pdf)
- Group, S. M. O. (2008b). PEP Program: ACL Prevention Program. Retrieved 12 de Septiembre 2009, 2009, from [www.sportsmedicine.about.com/od/kneepainandinjuries](http://www.sportsmedicine.about.com/od/kneepainandinjuries) y [www.aclprevent.com/pepprogram.htm](http://www.aclprevent.com/pepprogram.htm)
- Hägglund, M. (2007). *Epidemiology and prevention of football injuries*. Linköping University, Sweden.
- Hägglund, M., Walden, M., Bahr, R., & Ekstrand, J. (2005). Methods for epidemiological study of injuries to professional football players: developing the UEFA model. *Br J Sports Med*, 39(6), 340-346.
- Hägglund, M., Walden, M., & Ekstrand, J. (2003). Exposure and injury risk in Swedish elite football: a comparison between seasons 1982 and 2001. *Scand J Med Sci Sports*, 13(6), 364-370.
- Hägglund, M., Walden, M., & Ekstrand, J. (2005). Injury incidence and distribution in elite football--a prospective study of the Danish and the Swedish top divisions. *Scand J Med Sci Sports*, 15(1), 21-28.
- Hägglund, M., Walden, M., & Ekstrand, J. (2006). Previous injury as a risk factor for injury in elite football: a prospective study over two consecutive seasons. *Br J Sports Med*, 40(9), 767-772.
- Hägglund, M., Walden, M., & Ekstrand, J. (2008). Injuries among male and female elite football players. *Scand J Med Sci Sports*.
- Hägglund, M., Walden, M., & Ekstrand, J. (2009). UEFA injury study--an injury audit of European Championships 2006 to 2008. *Br J Sports Med*, 43(7), 483-489.
- Halson, S. (2008). Nutrition, sleep and recovery. *European Journal of Sport Science*, 8, 119-126.
- Hardy, J. D. (1939). The radiating power of human skin in the infra-red. *Am J Physiol*, 127(3) <http://ajplegacy.physiology.org> %8 September 30, 1939), 454-462.

- Harrison, G. I., Young, A. R., & McMahon, S. B. (2004). Ultraviolet radiation-induced inflammation as a model for cutaneous hyperalgesia. *J Invest Dermatol*, 122(1), 183-189.
- Hawkins, & Fuller. (1996). Risk assessment in professional football: an examination of accidents and incidents in the 1994 World Cup finals. *Br J Sports Med*, 30(2), 165-170.
- Hawkins, & Fuller. (1998). An examination of the frequency and severity of injuries and incidents at three levels of professional football. *Br J Sports Med*, 32(4), 326-332.
- Hawkins, & Fuller. (1999). A prospective epidemiological study of injuries in four English professional football clubs. *Br J Sports Med*, 33(3), 196-203.
- Hawkins, Hulse, Wilkinson, Hodson, & Gibson. (2001). The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med*, 35(1), 43-47.
- Hay, J. (1996). *Biomechanics of Sport Techniques*. New Jersey: Prentice Hall.
- Hejazi, S., & Anbar, M. (1993). Effects of topical skin treatment and of ambient light in infrared thermal images. *Biomedical Thermology*, 12, 300-305.
- Hejazi, S., Wobschall, D. C., Spangler, R. A., & Anbar, M. (1992). Scope and limitations of thermal imaging using multiwavelength infrared detection. *Optical Engineering*, 31(11), 2383-2393.
- Herbert, R. D., & Gabriel, M. (2002). Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 325, 7362-7368.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2007). *Metodología de la investigación*. (4ª ed.). Mexico: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A.
- Hilbert, J., Sforzo, G., & Swensen, T. (2003). The effects of massage on delayed onset muscle soreness. *Br J Sports Med*, 37, 72-75.
- Holey, E., & Cook, E. (2003). *Evidence-Based Therapeutic Massage. A Practical Guide for Therapists* (2nd ed.). Edinburgh: Churchill Livingstone.

- Hopkins, W. G. (1991). Quantification of training in competitive sports: methods and applications. *Sports Medicine*, 12, 161-183.
- Howatson, G., & Van Someren, K. (2008). The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine*, 38, 483-503.
- Hsing-Hua, N., Ping-Wing, L., Jenkins, S., Chien-Kun, T., Young-Chen, Y., Yu-Lin, L., et al. (2001). Thermal Symmetry of Skin Temperature: Normative Data of Normal Subjects in Taiwan. *Chinese Medical Journal (Taipei)*, 64, 459-468.
- IACT. (2002). Thermology Guidelines. Standards and protocols in Clinical Thermography Imaging [Electronic Version], 9. Retrieved 2009/04/13, from <http://www.iact-org.org/professionals/thermog-guidelines.html>
- Ibrahim, A., Murrell, G. A., & Knapman, P. (2007). Adductor strain and hip range of movement in male professional soccer players. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 15(1), 46-49.
- Incropera, F. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (4ª ed.). México: Prentice Hall.
- Inklaar, H. (1994a). Soccer injuries. I: Incidence and severity. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 18(1), 55-73.
- Inklaar, H. (1994b). Soccer injuries. II: Aetiology and prevention. *Sports Med*, 18(2), 81-93.
- Inklaar, H., Bol, E., Schmikli, S. L., & Mosterd, W. L. (1996). Injuries in male soccer players: team risk analysis. *Int J Sports Med*, 17(3), 229-234.
- Isard, H. J., Becker, W., Shilo, R., & Ostrum, B. J. (1972). Breast thermography after four years and 10000 studies. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med*, 115(4), 811-821.
- ITC. (2009). Manual Curso Nivel 1: Termografía Infrarroja. Infrared Training Center.
- Junge, Dvorak, Chomiak, Peterson, & Graf-Baumann. (2000). Medical history and physical findings in football players of different ages and skill levels. *Am J Sports Med*, 28(5 Suppl), S16-21.
- Junge, & Dvorak, J. (2000). Influence of definition and data collection on the incidence of injuries in football. *Am J Sports Med*, 28(5), s40-s46.

- Junge, & Dvorak, J. (2004). Soccer injuries: a review on incidence and prevention. *Sports Med*, 34(13), 929-938.
- Junge, Dvorak, J., & Graf-Baumann, T. (2004). Football injuries during the World Cup 2002. *Am J Sports Med*, 32(1 Suppl), 23S-27S.
- Junge, Dvorak, J., Graf-Baumann, T., & Peterson, L. (2004). Football injuries during FIFA tournaments and the Olympic Games, 1998-2001: development and implementation of an injury-reporting system. *Am J Sports Med*, 32(1 Suppl), 80S-89S.
- Junge, Langevoort, G., Pipe, A., Peytavin, A., Wong, F., Mountjoy, M., et al. (2005). Injuries in team sport tournaments during the 2004 Olympic Games. *Am J Sports Med*, 34(4), 565-576.
- Junge, Rosch, D., & Peterson, L. (2002). Prevention of soccer injuries: a prospective intervention study in youth amateur players. *Am J Sports Med*, 30(5), 652-659.
- Kainz, A. (1993). Quantitative Überprüfung der Massgewirkung mit Hilfe der IR-Thermographie. *Thermol Österr*(3/2), 79-83.
- Kemmler, W., Von Stengel, S., Köckritz, C., Mayhew, J., Wassermann, A., & Zapf, J. (2009). Effect of compression stockings on running performance in men runners. *J Strength Cond Res*, 23(1), 101-105.
- Kempińska-Podhorodecka, A., Szydłowski, Ł., Knap, O., & Parafiniuk, M. (2007). Application of thermovision in forensic medicine on the basis of the research carried out in Forensic Medicine Department, Pomeranian Medical University in Szczecin. *Ann Acad Med Stetin*, 53(Suppl 2), 107-112.
- Kennet, J., Hardaker, N., Hobbs, S., & Selfe, J. (2007). Cooling efficiency of 4 common cryotherapeutic agents. *J Athl Train*, 42(3), 343-348.
- Keyl, W., & Lenhart, P. (1975). Thermography in sport injuries and lesions of the locomotor system due to sport. *Fortschr Medicine*, 23(93(3)), 124-126.
- Kolosova-Machuca, E., & González, F. J. (2011). Distribution of skin temperature in Mexican children. *Skin Research and Technology*, 1-6.

- Konermann, H., & Koob, E. (1975). Infrarotthermographische Kontrolle der Effektivität krankengymnastischer Behandlungsmaßnahmen Krankengymnastik. (27), 397-400.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., & Kjaer, M. (2003). *Muscle metabolites during a football match in relation to a decreased sprinting ability*. Paper presented at the Fifth World Congress of Soccer and Science, Lisbon, Portugal.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., & Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38, 1165-1174.
- Kulesza, O., Rzczkowski, M., & Kaczorowski, M. (2004). Thermography and its practical use in equine diagnostics and treatment. *Medycyna Weterynaryjna*, 60(11), 1143-1146.
- Kuligowski, L., Lephart, S., Giannantonio, F., & Blanc, R. (1998). Effect of whirlpool therapy on the signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *J Athl Train*, 33, 222-228.
- Lane, K., & Wenger, H. (2004). Effect of selected recovery conditions on performance of repeated bouts of intermittent cycling separated by 24 hours. *J Strength Cond Res*, 18, 855-860.
- Lapointe, B. M., Fremont, P., & Côte, C. H. (2002). Adaptation to lengthening contractions is independent of voluntary muscle recruitment but relies on inflammation. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 282, R323-329.
- Lattier, G., Millet, G., Martin, A., & Martin, V. (2004). Fatigue and recovery alter high-intensity exercise: Part II: Recovery interventions. *International Journal of Sports Medicine*, 25, 509-515.
- Lecerof, H., Bornmyr, S., Lilja, B., De Pedis, G., & Hulthen, U. L. (1990). Acute effects of doxazosin and atenolol on smoking-induced peripheral vasoconstriction in hypertensive habitual smokers. *J Hypertens Suppl*, 8(5), S29-33.
- Leclaire, R., Esdaile, J. M., Jequier, J. C., Hanley, J. A., Rossignol, M., & Bourdouxhe, M. (1996). Diagnostic accuracy of technologies used in low back pain

- assessment - Thermography, triaxial dynamometry, spinoscopy, and clinical examination. *Spine*, 21(11), 1325-1330.
- Lee, M., & Cohen, J. (2008). *Rehabilitation medicine and thermography*. Wilsonville, OR: Impress Publications.
- Lewin, G. (1989). The incidence of injuries in an English professional soccer club during one competitive season. *Physiotherapy*, 75, 601-605.
- Liemohn, W. (1978). Factors related to hamstring Straits. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 18, 71-76.
- López, G. R. (2010). *Aplicación de la termografía infrarroja en la evaluación no destructiva de estructuras de madera.*, Universidad de Valladolid, Valladolid.
- Luong, M. P. (1995). Infrared thermographic scanning of fatigue in metals. *Nuclear Engineering and Design*, 158, 363-376.
- Lüthje, P., Nurmi, I., Kataja, M., Belt, E., Helenius, P., Kaukonen, J., et al. (1996). Epidemiology and traumatology of injuries in elite soccer: a prospective study in Finland. *Scand J Med Sci Sports*, 6(3), 180-185.
- Mair, S. D., Seaber, A. V., Glisson, R. R., & Garrett, W. E., Jr. (1996). The role of fatigue in susceptibility to acute muscle strain injury. *Am J Sports Med*, 24(2), 137-143.
- Maldague, X. P. (2001). *Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing*. USA: John Wiley & Sons.
- Manginas, A., Andreanides, E., Leontiadis, E., Sfyarakis, P., Maounis, T., Degiannis, D., et al. (2010). Right ventricular endocardial thermography in transplanted and coronary artery disease patients: first human application. *J. Invasive Cardiol*, 22(9), 400-404.
- Mangine, R. E., Siqueland, K. A., & Noyes, F. R. (1987). The use of thermography for the diagnosis and management of patellar tendinitis. *J Orthop Sports Phys Ther*, 9(4), 132-140.
- Mannara, G., Salvatori, G. C., & Pizzuti, G. P. (1993). Ethyl alcohol induced skin temperature changes evaluated by thermography. Preliminary results. *Boll Soc Ital Biol Sper*, 69(10), 587-594.

- Mari, P. (2009). La psicología de las lesiones. Unpublished Apuntes del Master Universitario en prevención y readaptación de lesiones deportivas en el fútbol. RFEF-UCLM-COE.
- Markel, A. L., & Vainer, B. G. (2005). Infrared thermography in diagnosis of breast cancer (review of foreign literature). *Ter Arkh*, 77(10), 57-61.
- Mayr, H., Thür, H., & Ammer, K. (1995). Electrical stimulation of the Stellate Ganglia. In K. Ammer & E. Ring (Eds.), *The thermal image in Medicine and Biology* (pp. 2006-2209). Wien Uhlen: Verlag.
- Meeuwisse, W. H., & Love, E. J. (1998). Development, implementation, and validation of the Canadian Intercollegiate Sport Injury Registry. *Clin J Sport Med*, 8(3), 164-177.
- Monedero, J., & Donne, B. (2000). Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 593-597.
- Mora, J. A., García, J., Toro, S., & Zarco, J. A. (2000). *Psicología aplicada a la actividad físico-deportiva*. Madrid: Pirámide.
- Morgan, B. E., & Oberlander, M. A. (2001). An examination of injuries in major league soccer. The inaugural season. *Am J Sports Med*, 29(4), 426-430.
- Nakamura, D., Akimoto, T., Suzuki, S., & Kono, I. (2004). Decreased salivary SgA levels before appearance of upper respiratory tract infection in collegiate soccer players. In (Eds.) :In T. Relly, T. Cabri & D. Araújo (Eds.), *Science and Football V* (pp. 536-543). London: Routledge.
- Ng, E. (2009). A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor. *International Journal of Thermal Sciences*, 48(5), 849-859.
- Ng, E., & Acharya, R. (2009). Remote-sensing infrared thermography. *IEEE Eng Med Biol Mag*, 28(1), 76-83.
- Nichols, A., & Harrigan, R. (2006). Complementary and alternative medicine usage by intercollegiate athletes. *Clin J Sport Med*, 16, 232-237.
- Nielsen, A. B., & Yde, J. (1989). Epidemiology and traumatology of injuries in soccer. *Am J Sports Med*, 17(6), 803-807.

- Nieman, D., & Bishop, N. (2006). Nutritional strategies to counter stress to the immune system in athletes, with special referente to football. *Journal of Sports Sciences*, 24, 763-772.
- Nomura, I., Cohen, J., & Downing, L. (2008). Thermography Techniques. In M. Lee & J. Cohen (Eds.), *Rehabilitation Medicine and Thermography*. Wilsonville, OR: Impress Publications.
- Norris. (1998). *Flexibility: Principles and Practice*. London: Black.
- Novoa, B., & Pérez, M. (2009). Abordaje terapéutico y preventivo de lesiones en el fútbol mediante vendajes funcionales y ortesis: esguince de rodilla y dolor femoropatelar. *Fisioterapia*, 31(3), 101-106.
- Noya, J. (2011). *Epidemiología lesional en el fútbol profesional español en la temporada 2008-2009*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Noya, J., Benito, P. J., Calderón, J., & Gómez, P. M. (2008). *Validation of a questionnaire for the registration of injuries in the professional soccer*. Paper presented at the 13th Annual Congress of the European Collage of Sport Science ECSS Estoril, Portugal, Estoril (Portugal).
- Ogawa, T., Sugeno, J., Ohnishi, N., Natsume, K., Ochiai, M., Nishida, M., et al. (1991). Dynamic sweating response of man to infrared irradiation in various spectral regions. *Int J Biometeorol*, 35(1), 18-23.
- Orchard, J. (1995). Orchard Sports Injury Classification System (OSICS). *Sport Health*(11), 39-41.
- Parker, W. J., Jenkins, R. J., Butler, C. P., & Abbot, G. L. (1961). Flash method of determining thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity. *Journal of Applied Physics*, 32(9), 1679-1684.
- Parkkari, J., Kujala, U. M., & Kannus, P. (2001). Is it possible to prevent sports injuries? Review of controlled clinical trials and recommendations for future work. *Sports Med*, 31(14), 985-995.
- Paulson, J. (2010). Nicotine exacerbates brain edema during in vitro and in vivo focal ischemic conditions. *J Pharmacol Exp Ther*, 332(2), 371-379.

- Penniman, F. G. (1965). A long-pulse method of determining thermal diffusivity. *Solar Energy*, 9(3), 113-116.
- Petersen, J., & Holmich, P. (2005). Evidence based prevention of hamstring injuries in sport. *Br J Sports Med*, 39(6), 319-323.
- Peterson, L., Junge, A., Chomiak, J., Graf-Baumann, T., & Dvorak, J. (2000). Incidence of football injuries and complaints in different age groups and skill-level groups. *Am J Sports Med*, 28(5 Suppl), S51-S57.
- Petibois, C., Cazorla, G., Poortmans, J. R., & Deleris, G. (2002). Biochemical aspects of overtraining in endurance sports: a review. *Sports Med*, 32(13), 867-878.
- Poulsen, T. D., Freund, K. G., Madsen, F., & Sandvej, K. (1991). Injuries in high-skilled and low-skilled soccer: a prospective study. *Br J Sports Med*, 25(3), 151-153.
- Quinlan, P. (1997). Effects of hot tea, coffee and water ingestion on physiological responses and mood: the role of caffeine, water and beverage type. *Psychopharmacology*, 134(2), 164-171.
- R.A.E (Ed.) (2001) Diccionario de la lengua española ( 22.<sup>a</sup> ed.). Madrid: Espasa.
- Rahnama, N., Reilly, T., & Lees, A. (2002). Injury risk associated with playing actions during competitive soccer. *British Journal of Sports Medicine*, 36, 354-359.
- Rahnama, N., Reilly, T., Lees, A., & Graham-Smith, P. (2003). Muscle fatigue induced by exercise simulating the work rate of competitive soccer. *Journal of Sports Sciences*, 21, 933-942.
- Rathklob, O., Schartelmüller, T., Hein, L., & Ammer, K. (1991). Hauttemperatur am Kniegelenk nach Kaltluftbehandlung. *Thermol Österr*(1), 9-14.
- Reilly. (1994). Physiological aspect of soccer. *Biology and Sports*, 11, 3-20.
- Reilly. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular referente to fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 15, 257-263.
- Reilly, Drust, & Clarke. (2008). Muscle fatigue during football match-play. *Sports Med*, 38(5), 357-367 Review.
- Reilly, & Ekblom. (2005). The use of recovery methods post-exercise. *Journal of Sports Sciences*, 23, 619-627.

- Reinberg, A. (1975). Circadian changes in the temperature of human beings. *Bibl Radiol*(6), 128-139.
- Reinikainen, L. M., & Jaakkola, J. J. (2003). Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms. *Indoor Air*, 13(4), 344-352.
- Ribera, V. (2008). Síndrome del dolor regional complejo Tipo I (DSR) y Tipo II (Causalgia) [Electronic Version], from [www.scartd.org/arxius/causalguas01.pdf](http://www.scartd.org/arxius/causalguas01.pdf)
- Rimaud, D., Messonnir, L., Castells, J., Devillard, X., & Calmels, P. (2010). Effects of compression stockings during exercises and recovery on blood lactate kinetics. *Eur J Appl Physiol*, 110(2), 425-433.
- Ring, E., & Ammer, K. (2000). The Technique of Infrared Imaging in Medicine. *Thermology International*, 10(1), 7-14.
- Ring, E., Barker, J., & Harrison, R. (1989). Thermal effects of pool therapy on the lower limbs. *Thermology*, 3, 127-131.
- Ring, E., Mcevoy, H., Jung, A., Zuber, J., & Machin, G. (2010). New standards for devices used for the measurement of human body temperature. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 34(4), 249-253.
- Ring, E., & Phillips, B. (1984). *Recent advances in medical thermology*. New York: Plenum Press.
- Ring, E., Porto, L., & Bacon, P. (1981). Quantitative thermal imaging to assess inositol nicotinate treatment for Raynaud's syndrome. *J Int Med Res*, 9(6), 393-400.
- Roi, G., Sisca, G., Perondi, F., Diamante, A., & Nanni, G. (2003). *Post-competition blood lactate accumulation during a first league soccer Seaton*. Paper presented at the 5th Congress on Science and Football, Lisbon.
- Rothchild, I., & Barnes, A. C. (1952). The effects of dosage, and of estrogen, androgen or salicylate administration on the degree of body temperature elevation induced by progesterone. *Endocrinology*, 50, 485-496.
- Rumiński, J., Kaczmarek, M., Renkielska, A., & Nowakowski, A. (2007). Thermal parametric imaging in the evaluation of skin burn depth. *IEEE Trans Biomed Eng*, 54(2), 303-312.

- Rusch, D., & Kiesselbach, G. (1984). Comparative thermographic assessment of lower leg baths in medicinal mineral waters (Nauheim springs). In E. F. J. Ring & B. Phillips (Eds.), *Recent advances in medical Thermology* (pp. 535-540). New York: Plenum Press.
- San Román, Z. (2009). Prevención de las lesiones en el fútbol: factores de riesgo extrínsecos. Unpublished Apuntes del Master Universitario en prevención y readaptación de lesiones deportivas en el fútbol. RFEF-UCLM-COE.
- Sands, W. A., McNeal, J. R., & Stone, M. H. (2011). Thermal imaging and gymnastics injuries: a means of screening and injury identification. *Science of Gymnastics Journal*, 3(2), 5-12.
- Santa Cruz, G. A., González, S. J., Bertotti, J., & Marín, J. (2009). First application of dynamic infrared imaging in boron neutron capture therapy for cutaneous malignant melanoma. *Med Phys*, 36(10), 4519-4529.
- Serway, & Beichner. (2002). *Física* (5ª ed. Vol. Tomo 1 y 2). Mexico: McGraw Hill.
- Shephard, R. J. (1989). Current perspectives on the economics of fitness and sport with particular reference to worksite programmes. / Perspectives économiques actuelles du marché de la condition physique et du sport, considerant notamment les programmes sur les lieux de travail. *Sports Medicine*, 7(5), 286-309.
- Shirreffs, S. M. (2010). Hydration: special issues for playing football in warm and hot environments. *Scand J Med Sci Sports*, 20(Suppl 3), 90-94.
- Shlygin, G. K., Lindenbraten, L. D., Gapparov, M. M., Vasilevskaia, L. S., Ginzburg, L. I., & Sokolov, A. I. (1991). Radiothermometric research of tissues during the initial reflex period of the specific dynamic action of food. *Med Radiol (Mosk)*, 36(5), 10-12.
- Shrier, I. (2000). Stretching before exercise: evidence based approach. *British Journal of Sports Medicine*, 34, 324-325.
- Shrier, I. (2002). Does stretching help prevent injuries. In D. McAuley & B. T. (Eds.), *Evidence based sport medicine*. Londres: BMJ Books.
- Sidney, F. (1999). *Scientific photography and applied imaging*. Oxford: Focal Press.

- Sigalés, B. (2003). *Transferencia de Calor Técnica* (Vol. 1). Barcelona: Editorial Reverté.
- Sillero, M., & Gómez, P. M. (2010). *Termografía deportiva. Curso básico de termografía como medio para la prevención y seguimiento de lesiones*. Madrid: ADELEF.
- Sillero, M., Gómez, P. M., García de la Concepción, M. A., Fernández, I., Piñonosa, S., & Cordente, C. A. (2010). *Application of thermography as injury prevention method and monitoring of the injury recovery in Athletics*. Paper presented at the World Congress on Science in Athletics, INEFC Barcelona.
- Sillero, M., Gómez, P. M., Noya, J., Núñez, F. J., & Fernández, I. (2009, 1st to 3rd september 2009). *Comparison of infrared thermography with tensiomyography as injury prevention method in professional soccer players*. Paper presented at the BASES, Leeds.
- Smith, B., Bandler, M., & Goodman, P. (1986). Dominant forearm hyperthermia: A study of fifteen athletes. *Thermology*, 2, 25-28.
- Solla, A., & Martínez, M. (2009). Medidas de prevención desde la actividad física. Unpublished Apuntes del Master Universitario en prevención y readaptación de lesiones deportiva en el fútbol. RFEF-UCLM-COE.
- Song, C., Tang, B., Campbell, P. A., & Cuschieri, A. (2009). Thermal spread and heat absorbance differences between open and laparoscopic surgeries during energized dissections by electrosurgical instruments. *Surg Endosc*, 23(11), 2480-2487.
- Steffen, K., Andersen, T., Krosshaug, T., van Mechelen, W., Myklebust, G., Verhagen, E., et al. (2010). ECSS Position Statement 2009: Prevention of acute sports injuries. *European Journal of Sport Science*, 10(4), 223 - 236.
- Steffen, K., Myklebust, G., Andersen, T., Holme, I., & Bahr, R. (2008). Self-reported injury history and lower limb function as risk factors for injuries in female youth soccer. *Am J Sports Med*, 36, 700-708.
- Steffen, K., Myklebust, G., Olsen, O. E., Holme, I., & Bahr, R. (2008). Preventing injuries in female youth football - a cluster- randomized controlled trial. *Scand J Med Sci Sports*, 18(605-614).

- Svensson, M., & Drust, B. (2005). Testing soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 601-618.
- Tagliabue, A. (1994). Coffe induced thermogenesis and skin temperature. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 18(8), 537-541.
- Taoutaou, Z., Granier, P., Mercier, B., Mercier, J., Ahmaidi, S., & Perfaut, C. (1996). Lactate Kinetics during passive and partially active recovery in endurance and sprint athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 73, 465-470.
- Tarragó, J. R. (2009). Readaptación al esfuerzo: Ejemplo práctico Unpublished Apuntes del Master Universitario en prevención y readaptación de lesiones deportiva en el fútbol. RFEF-UCLM-COE.
- Terrados, N., Mora, R., & Padilla, S. (2004). *La recuperación de la fatiga del deportista*. Madrid: Gymnos.
- Thacker, S., Gilchrist, J., Stroup, D., & Kimsey, C. (2004). The impacto of stretching on Sports injury risk: a systematic review of the literature. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(3), 371-378.
- Tham, T. C., Silke, B., & Taylor, S. H. (1990). Comparison of central and peripheral haemodynamic effects of dilevalol and atenolol in essential hypertension. *J Hum Hypertens*, 4 Suppl 2, 77-83.
- Thomson, P. E. (2002). Madrid Patent No. ES 2 279 799 T3: OEPM.
- Titman, D. J. (2001). Applications of thermography in non-destructive testing of structures. *NDT&E International*, 34, 149-154.
- Tropp, H., Askling, C., & Gilquist, J. (1985). Prevention on ankle sprains. *American Journal of Sports Medicine*, 13(4), 259-262.
- Tropp, H., Ekstrand, J., & Gillquist, J. (1984). Factors affecting stabilometry recordings of single limbe stance. *Am J Sports Med*, 12, 185-188.
- Turner, T. A. (1991). Thermography as an aid to the clinical lameness evaluation. *Vet Clin North Am Equine Pract*, 7(2), 311-338.
- Tyler, T. F., Nicholas, S. J., Campbell, R. J., Donellan, S., & McHugh, M. P. (2002). The effectiveness of a preseason exercise program to prevent adductor muscle strains in professional ice hockey players. *Am J Sports Med*, 30(5), 680-683.

- Uematsu, S. (1985). Thermographic imaging of cutaneous sensory segment patients with peripheral nerve injury. Skin-temperature stability between sides of the body. *J Neurosurg*, 62, 716-720.
- Uematsu, S., Edwin, D. H., Jankel, W. R., Kozixowski, J., & Trattner, R. T. (1988). Quantification of thermal asymmetry, Part I: Normal values and reproducibility. *J Neurosurg*, 69, 552-555.
- Usuki, K., Kanekura, T., Aradono, K., & Kanzaki, T. (1998). Effects of nicotine on peripheral cutaneous blood flow and skin temperature. *J Dermatol Sci*, 16(3), 173-181.
- Vaile, J., Gill, ND, and Blazeovich, AJ. (2007). The effect of contrast water therapy on symptoms of delayed onset muscle soreness. *J Strength Cond Res*, 21, 697-702.
- Van Mechelen, W., Hlobil, H., & Kemper, H. (1992). Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries: a review of concepts. . *Sports Med*, 14, 82-99.
- Verdasca, R. (2008). Symmetry of temperature distribution in the upper and the lower extremities. *Thermology International*, 18(4), 154.
- Verdasca, R., Ring, F., Plassmann, P., & Jones, C. (2007). Thermal Symmetry on Extremities of Normal Subjects. *University of Glamorgan*, 19-24.
- Verkhoshansky, Y. (1990). *Entrenamiento deportivo. Planificación y programación*. Barcelona: Ediciones Martínez Roca.
- Verrall, G. M., Slavotinek, J. P., & Barnes, P. G. (2005). The effect of Sports specific training on reducing the incidente of hamstring injuries in professional Australian Rules football players. *Br J Sports Med*, 39, 363-368.
- Visauta, B. (1989). *Técnicas de investigación social. Recogida de datos*. Barcelona.
- Walden, M., Hagglund, M., & Ekstrand, J. (2005a). Injuries in swedish elite football - a prospective study on injury definitions, risk for injury and injury pattern during 2001. *Scand J Med Sci Sports*, 15(2), 118-125.
- Walden, M., Hagglund, M., & Ekstrand, J. (2005b). UEFA Champions League study: a prospective study of injuries in professional football during the 2001-2002 season. *Br J Sports Med*, 39(8), 542-546.

- Walden, M., Hagglund, M., & Ekstrand, J. (2006). High risk of new knee injury in elite footballers with previous anterior cruciate ligament injury. *Br J Sports Med*, 40(2), 158-162; discussion 158-162.
- Walden, M., Hagglund, M., & Ekstrand, J. (2007). Football injuries during European Championships 2004-2005. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 15(9), 1155-1162.
- Watmough, D., Fowler, P., & Oliver, R. (1970). The thermal scanning of a curved isothermal surface implications for clinical thermography. *Phys Med Biol*, 15, 1-8.
- Watmough, D., & Oliver, R. (1969). Variation of effective Surface Emissivity with angle and implications for clinical thermography. *Nature*, 222, 472-473.
- Watt, D. A. (1966). Theory of thermal diffusivity by pulse technique. *Journal of Applied Physics*, 17, 231-240.
- Weldon, S. H., R. (2003). The efficacy of stretching for prevention of exercise-related injury: a systematic review of the literature. *Manual Therapy*, 8, 141-150.
- Weltman, A., Stamford, B., & Fulco, C. (1979). Recovery from maximal effort exercise. Lactate disappearance and subsequent performance. *Journal of Applied Physiology*, 47, 677-682.
- Werdehausen, R., Braun, S., Hermanns, H., Freynhagen, R., Lipfert, P., & Stevens, M. F. (2007). Uniform distribution of skin-temperature increase after different regional-anesthesia techniques of the lower extremity. *Reg Anesth Pain Med*, 32(1), 73-78.
- Weritz, F., R. Arndt, M. Röllig, C. Maierhofer and H. Wiggerhauser. (2005). Investigation of concrete structures with pulse phase thermography. *Materials and Structures*, 38, 843-849.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2007). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Barcelona :: Paidotribo.
- Williams, J. R. (2008). The Declaration of Helsinki and public health. *Bull World Health Organ*, 86(8), 650-652.

- Witvrouw, E., Danneels, L., Asselman, P., D'Have, T., & Cambier, D. (2003). Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *Am J Sports Med*, 31(1), 41-46.
- Witvrouw, E., Mahieu, N., Danneels, L., & McNair, P. (2004). Stretching and injury prevention: an obscure relationship. *Sports Med*, 34(7), 443-449.
- Woods, C., Hawkins, R., Hulse, M., & Hodson, A. (2002). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football--analysis of preseason injuries. *Br J Sports Med*, 36(6), 436-441.
- Woods, C., Hawkins, R., Hulse, M., & Hodson, A. (2003). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football: an analysis of ankle sprains. *Br J Sports Med*, 37(3), 233-238.
- Woods, C., Hawkins, R. D., Maltby, S., Hulse, M., Thomas, A., & Hodson, A. (2004). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football--analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med*, 38(1), 36-41.
- World-Medical-Association. (2004). World Medical Association Declaration of Helsinki. Retrieved 15-09-2011, from <http://www.wma.net/e/policy/b3.htm>
- Worrell, T., Perrin, D., Gansneder, B., & Gieck, J. (1991). Comparison of isokinetic strength and flexibility measures between hamstring injured and noninjured athletes. *Journal of Orthopaedic & Physical Therapy*, 13, 118-125.
- Yoon, Y. S., Chai, M., & Shin, D. W. (2004). Football injuries at Asian tournaments. *Am J Sports Med*, 32(1 Suppl), 36S-42S.
- Zontak, A., Sideman, S., Verbitsky, O., & Beyar, R. (1998). Dynamic thermography: analysis of hand temperature during exercise. *Ann Biomed Eng*, 26(6), 988-993.

## **10. ANEXOS**



## 10.1. ANEXO I: RADIACIÓN INFRARROJA

La radiación es un proceso de propagación de la energía en forma de oscilaciones u ondas electromagnéticas, que son entonces las portadoras de la energía de radiación. Este fenómeno también se conoce como radiación electromagnética y es de naturaleza doble, ya que posee propiedades tanto corpusculares como ondulatorias. Las ondas se propagan con la *velocidad de la luz* ( $c$ ) a través de cualquier medio y se caracterizan por la *longitud de onda* “ $\lambda$ ” y la *frecuencia de oscilación* “ $\nu$ ”, ambas ligadas mediante la relación:

$$\lambda \cdot \nu = c$$

En función de la longitud de onda, la radiación se denomina con diferentes nombres, y ha derivado finalmente en una clasificación aproximada de los tipos de radiación que conforman el conjunto del espectro electromagnético (Tabla. 49).

**Tabla 49.-** Clasificación de la Radiación electromagnética.

Longitud de Onda	Tipo de Radiación
$0,05 \cdot 10^{-6} \mu\text{m}$	Radiación cósmica
$(0,5-1) \cdot 10^{-6} \mu\text{m}$	Radiación gamma
$1 \cdot 10^{-6} - 20 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	Rayos X
$20 \cdot 10^{-3} - 0,4 \mu\text{m}$	Radiación ultravioleta
$0,4 - 0,8 \mu\text{m}$	Radiación visible
$0,8 - 800 \mu\text{m}$	Radiación infrarroja
$0,2 \text{ mm} - \text{X Km}$	Ondas radioeléctricas

Muchos de los cuerpos irradian energía de todas las longitudes de onda, ó lo que es lo mismo, poseen un espectro de radiación continuo. A la cantidad de energía irradiada por una superficie en todas las longitudes de onda por unidad de tiempo se le llama *flujo de radiación*  $Q$  [W], y al flujo de radiación emitido por la unidad de superficie  $dA$  [m<sup>2</sup>] en todas las direcciones se le denomina *densidad integral de radiación*  $E$  [W/m<sup>2</sup>], de forma que:

$$E = dQ / dA \quad [24]$$

Sin embargo, a las temperaturas con las que habitualmente tratamos, la cantidad fundamental de energía se emite en el intervalo de las longitudes de onda que va desde 0,8 hasta 80  $\mu\text{m}$ , una parte de la banda espectral que abarca la radiación infrarroja. La **Ley de Planck** determina la distribución de la intensidad de la energía de radiación en función de la longitud de onda y de la temperatura absoluta de un cuerpo (negro) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$E_{0\lambda} = c_1 \cdot \lambda^{-5} / [(c_2 / e^{\lambda \cdot T}) - 1] \quad [25]$$

Donde:  $\lambda$  = longitud de onda en m.

$T$  = temperatura absoluta del cuerpo en K.

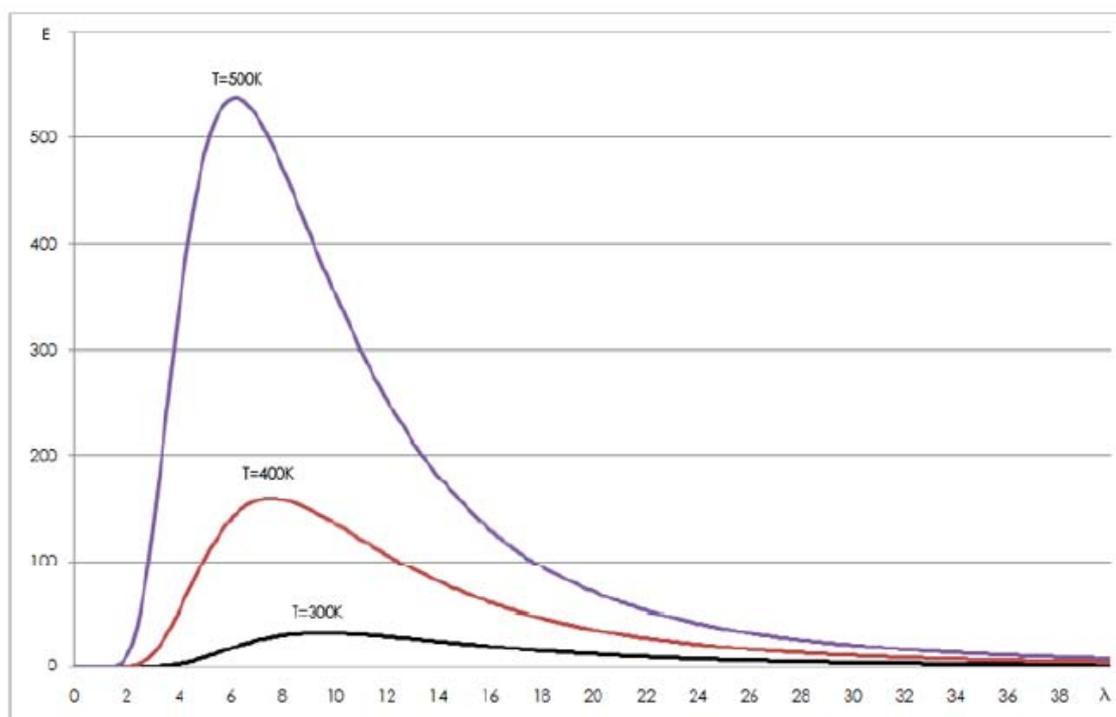
$c_1$  = constante de radiación ( $3,74 \cdot 10^{-16} \text{ [w/m}^2\text{]}$ ).

$c_2$  = constante de radiación ( $1,44 \cdot 10^{-2} \text{ [m}\cdot\text{k]}$ ).

Se puede observar en la representación gráfica de la ley de Planck (Figura 31) cómo la mayor cantidad de energía se concentra efectivamente en la franja espectral infrarroja, y tiende a cero para las longitudes de onda extremas. Wilhelm Wien (1864-1928), físico alemán autor de una de las leyes de la radiación, estableció la relación entre la temperatura  $T$  y la longitud de onda máxima  $\lambda_{\text{máx}}$  tras derivar la fórmula teórica de Planck con respecto de la longitud de onda, dando lugar a la **ley de Wien**:

$$\lambda_{\text{máx}} \cdot T = 2,9 \cdot 10^{-3} \quad [26]$$

Según esta ley, el máximo de la densidad integral de radiación se desplaza hacia las ondas más cortas a medida que aumentamos la temperatura, y sólo a temperaturas muy elevadas la energía de radiación no se concentrará en el intervalo de la radiación infrarroja. A modo de curiosidad sirva como ejemplo el sol, que a una temperatura de aproximadamente 5.500 K emite principalmente en la fracción del espectro correspondiente a la radiación visible.



**Figura 31.-** Representación gráfica de la Ley de Planck para determinadas temperaturas (López, 2010).

En definitiva, a temperatura ambiente, la energía emitida por un cuerpo que no esté comprendida en el intervalo infrarrojo es despreciablemente pequeña en comparación con la energía irradiada en esta banda espectral. Los rayos caracterizados por estas longitudes de onda también son conocidos comúnmente como **rayos térmicos**, y su propagación, como **radiación térmica**.

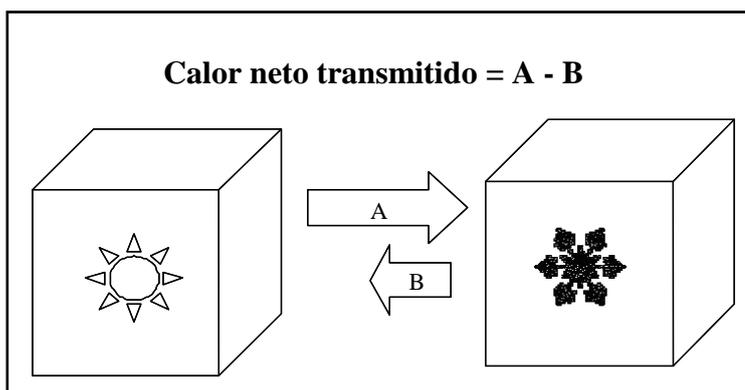
La radiación térmica es propia de todos los cuerpos y su evaluación permite conocer con bastante precisión la cantidad de energía que poseen. Depende principalmente de la naturaleza de la sustancia y de su temperatura y, como ya hemos destacado, la temperatura es un parámetro fundamental para determinar el estado interno de un cuerpo dado que está estrechamente ligada con la energía interna que posee.

Por tanto, según la ley de Planck, podemos determinar la cantidad de energía que almacena un cuerpo a partir de su temperatura. Y al contrario, podemos establecer la temperatura de un cuerpo a partir de la energía irradiada que, a temperatura ambiente, se concentra casi en su totalidad en la banda espectral infrarroja.

La medición de esta radiación infrarroja, de los rayos térmicos, permite teóricamente la estimación de su temperatura, conocer su condición interna y, por extensión, caracterizar la materia o el cuerpo.

### Transferencia de energía por radiación

Todos los cuerpos absorben y emiten radiación térmica al mismo tiempo. El calor neto transmitido es la diferencia entre lo que se ha absorbido y lo que se ha emitido. En la figura 32, el cuerpo más caliente emitirá una gran cantidad de radiación térmica, pero el cuerpo frío aunque lo haga en menor medida, también estará transmitiendo algo de radiación térmica, puesto que no está en cero absoluto y sus moléculas tienen algo de movimiento.



**Figura 32.-** Calor neto transmitido entre dos cuerpos. Adaptado de (ITC, 2009).

Cuando la diferencia de temperaturas es muy grande, al emisor de radiación térmica principal se le denomina “fuente”.

### Radiación incidente

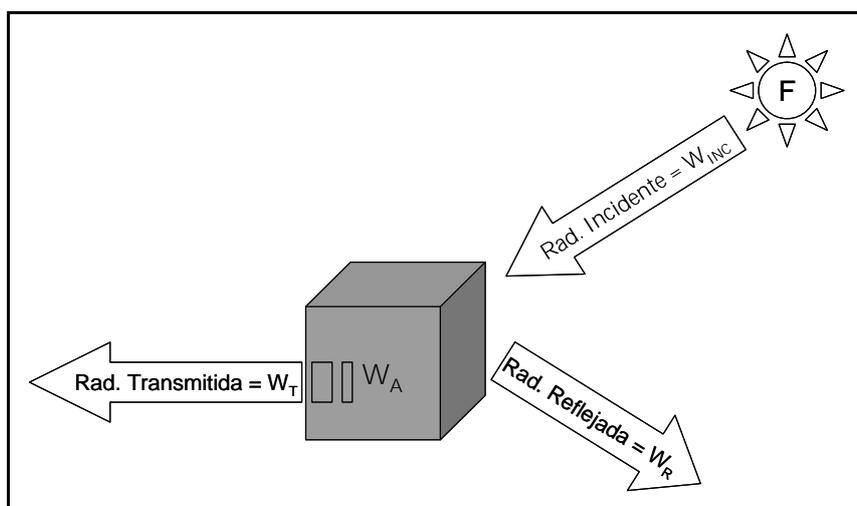
La radiación incidente es toda la radiación que llega a un cuerpo desde su entorno, es decir, es la radiación total que llega a un cuerpo desde una fuente, ó más

normalmente, de un conjunto de fuentes (Figura 33). Cuando la radiación incidente llega a la superficie objetivo, sólo pueden ocurrirle tres cosas:

- Que la radiación térmica sea reflejada por la superficie del cuerpo ( $W_\rho$ ).
- Que la radiación térmica sea absorbida por el cuerpo. En este caso, la energía pasa a acumularse en el cuerpo ( $W_\alpha$ ).
- Que la radiación térmica sea transmitida por el cuerpo ( $W_\tau$ ), es decir, es la que pasa a través de este. En el caso de cuerpos sólidos, la energía transmitida suele tender a cero.

Si lo escribimos como una ecuación, tendrá la siguiente forma:

$$W_{INDICENTE} = W_\rho + W_\alpha + W_\tau = 100\% \quad [27]$$



**Figura 33.-** Efecto de una fuente de radiación térmica sobre un cuerpo. Adaptado de (ITC, 2009).

Normalmente, lo que sucede es que se producen los tres fenómenos en una proporción diferente en función de las propiedades del material del cual está compuesto el cuerpo. Cada cuerpo tiene una capacidad de absorber ( $\alpha$ ), otra de reflejar ( $\rho$ ) y otra de transmitir ( $\tau$ ) la energía térmica. La suma de estos coeficientes será siempre “1”.

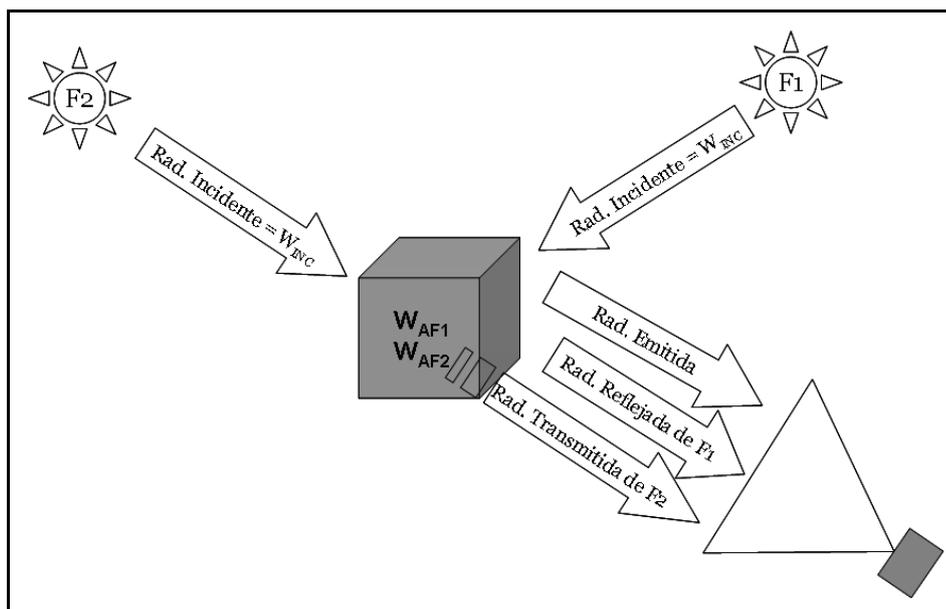
## Radiación saliente

La radiación saliente es toda la radiación que deja la superficie de un cuerpo, independientemente de su fuente de origen. Las radiaciones incidente y saliente son diferentes en un aspecto muy importante. Cuando hablamos de radiación incidente no importa realmente de dónde viene dicha radiación, sólo que viene de una fuente diferente del propio objetivo. Con la radiación saliente hay que analizar la radiación que viene de tres fuentes específicas (Figura 34):

- La radiación emitida por el propio cuerpo ( $W_\varepsilon$ ). Es la parte más importante para realizar termografía infraroja. El cuerpo tiene una emisividad determinada ( $\varepsilon$ ) y la radiación se emite en todas las direcciones. La intensidad de la radiación térmica depende de la temperatura del cuerpo y su emisividad, por lo tanto, un cuerpo con poca temperatura y una elevada emisividad puede irradiar más que otro a mayor temperatura con una mala emisividad.
- La radiación por reflexión ( $W_\rho$ ) que procede de una fuente que se encuentra delante del cuerpo, el cual reflejará su radiación, ó permitirá que pase a su través.
- La radiación por transmisión ( $W_\tau$ ) que procede de una fuente que se encuentra detrás del cuerpo, el cual reflejará su radiación, ó permitirá que pase a su través,

Si se expresa en forma de ecuación, quedará como sigue:

$$W_{SALIENTE} = W_\rho + W_\varepsilon + W_\tau = 100\% \quad [28]$$

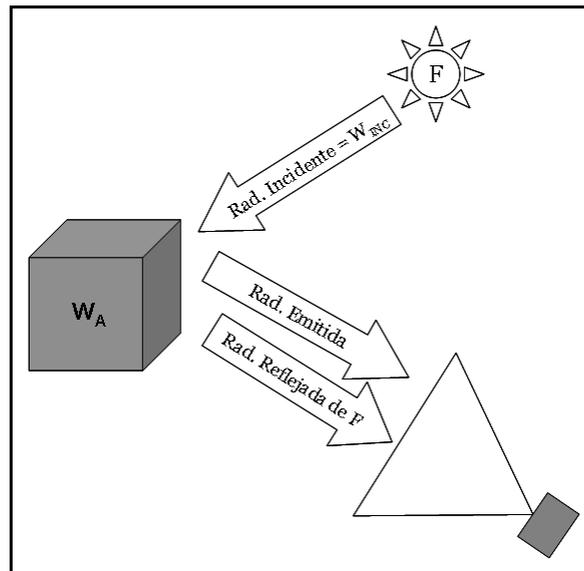


**Figura 34.-** Radiaciones salientes de un cuerpo. Adaptado de (ITC, 2009).

Por lo tanto, la radiación térmica saliente dependerá de la capacidad de emitir ( $\varepsilon$ ), de reflejar ( $\rho$ ) y de transmitir ( $\tau$ ) la energía térmica. La suma de las tres es siempre 1.

### Radiación en los cuerpos reales

En las medidas reales durante el trabajo práctico, jamás encontraremos cuerpos negros, por lo tanto, trabajaremos con cuerpos reales. Estos cuerpos reales pueden tener todas las características que hemos mencionado anteriormente, esto es la habilidad de emitir, absorber, reflejar y transmitir radiación infrarroja. Sin embargo, en la vida real casi todos los cuerpos son opacos a la luz infrarroja ( $\tau = 0$ ). Esto implica que únicamente deberemos tener en cuenta a la hora de registrar la radiación saliente, la radiación térmica por emisión y la radiación térmica por reflexión (Figura 35).



**Figura 35.-** Radiaciones salientes de un cuerpo opaco consiste de radiación emitida y reflejada.

Esto es válido para cuerpos reales no transparentes. Para este tipo de objetos, debemos considerar siempre que del cuerpo sale radiación procedentes de dos fuentes, reflejada y emitida. Es importante para no sólo medir correctamente la temperatura, sino también para interpretar correctamente la imagen termográfica.

## 10.2. ANEXO II: INFORME DEL COMITÉ DE ÉTICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



POLITÉCNICA

INFORME QUE EMITE EL COMITÉ DE ÉTICA DE LA UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA DE MADRID

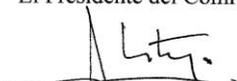
A petición del Vicerrector de Investigación de la Universidad Politécnica de Madrid, D. Gonzalo León Serrano, de un dictamen sobre los aspectos éticos y de seguridad del proyecto de investigación **“La Termografía como medio de detección, prevención y seguimiento de problemas y lesiones derivados de la actividad físico-deportiva en poblaciones especiales”** (THERMOSPEC) cuyo investigador principal es D. Manuel Sillero Quintana del Departamento de Deportes de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF), tras los pertinentes análisis, estudios y consultas, la Comisión emite el siguiente informe:

Dado que por un lado el responsable del proyecto asegura conocer los procesos y protocolos relativos a la protección de datos y por otro lado en dicho proyecto se utilizará una técnica no invasiva (termografía) y todos los sujetos serán previamente informados sobre los objetivos del proyecto firmando un consentimiento informado para su participación en el estudio,

No hay inconveniente en informar favorablemente la propuesta, recomendando el efectivo cumplimiento de los compromisos declarados.

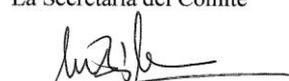
Y para que así conste, firmo el presente informe en Madrid a trece de febrero de dos mil nueve.

El Presidente del Comité



Vicente Ortega Castro

La Secretaria del Comité



M. Inés Mínguez Tudela

### 10.3. ANEXO III: EJEMPLO DE INFORME TERMOGRÁFICO



#### EVALUACIÓN TERMOGRÁFICA INFORME INDIVIDUAL



POLITÉCNICA

Pag 1/2

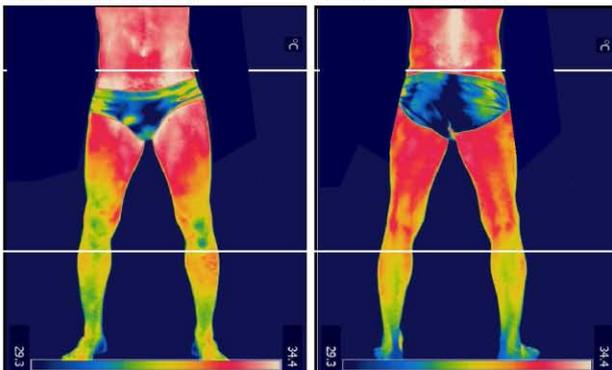
Jugador: XXXXXXXXXX Fecha: 23-8-09 Tª Ext: 25 °C Equipo: XXXXXXXXXX

Observaciones: 0

IMAGEN ANTERIOR:

IMAGEN POSTERIOR:

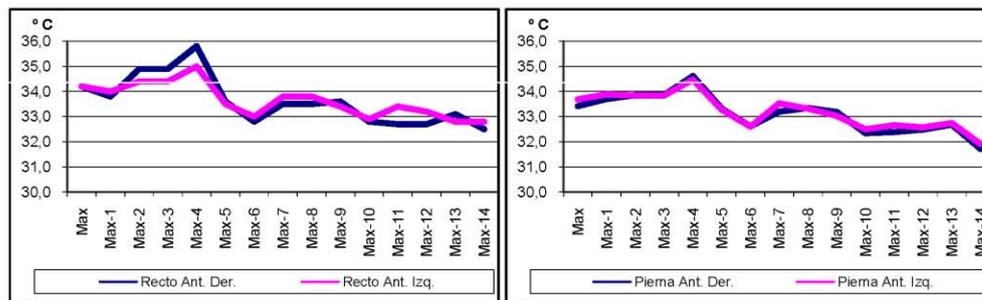
COMENTARIOS:



DATOS DEL MIEMBRO INFERIOR ANTERIOR: NOTA: Max = Máximo; X = Media; H = Histórico; G = Grupo

ZONA	Max	Max-1	Max-2	HMax	MaxG	X	X-1	X-2	HX	XG
Ad D	34,0	33,6	34,4	33,4±0,7	33,4±0,8	33,6	33,3	33,8	32,9±0,7	32,7±0,9
Ad I	34,5	33,9	34,3	33,6±0,7	33,4±0,8	33,5	33,4	33,5	33,0±0,7	32,7±0,8
RA D	34,2	33,8	34,9	33,6±1,0	33,5±0,7	33,0	32,8	33,3	32,5±0,8	32,5±0,7
RA I	34,2	34,0	34,4	33,6±0,7	33,4±0,7	33,5	33,2	33,7	32,9±0,8	32,5±0,7
VIn D	33,8	33,6	33,6	33,0±0,7	33,1±0,7	32,8	32,6	32,7	32,1±0,8	32,0±0,7
VIn I	33,8	33,7	34,0	33,2±0,7	33,0±0,7	32,9	33,1	33,0	32,5±0,6	32,0±0,6
VEx D	33,6	33,7	34,1	33,3±0,8	33,3±0,6	32,5	32,3	32,8	32,0±0,8	32,1±0,6
VEx I	34,1	33,9	34,5	33,4±0,8	33,1±0,7	33,0	32,9	33,4	32,4±0,8	31,9±0,7
R D	33,1	33,6	33,0	32,9±0,6	32,5±0,6	31,9	32,3	32,0	31,5±0,8	31,1±0,6
R I	33,1	33,8	33,0	32,8±0,7	32,5±0,6	32,0	32,6	32,1	31,6±0,8	31,0±0,6
Tb D	32,6	33,9	33,6	33,1±0,7	33,1±0,8	31,9	32,8	32,7	32,0±0,8	31,9±0,8
Tb I	33,2	34,1	33,7	32,9±0,7	33,0±0,7	32,3	33,3	32,9	32,1±0,9	31,9±0,7
T D	32,6	33,7	34,0	32,6±1,3	32,4±0,6	31,7	32,2	33,5	31,2±2,2	30,2±1,1
T I	32,9	33,8	33,8	32,8±1,1	32,6±0,7	32,0	33,0	33,2	31,8±1,4	31,5±0,7
IA D	33,4	33,7	33,9	33,1±0,7	33,0±0,6	32,5	32,6	33,0	32,0±0,9	31,8±0,7
IA I	33,7	33,9	33,8	33,2±0,7	33,0±0,6	32,7	33,1	33,1	32,3±0,8	31,9±0,6
IA	33,6	33,8	33,9	33,2±0,7	33,0±0,6	32,6	32,8	33,0	32,2±0,9	31,8±0,6

#### EVOLUCION DE DETERMINADAS ZONAS EN LAS ÚLTIMAS 15 EVALUACIONES.





## EVALUACIÓN TERMOGRÁFICA INFORME INDIVIDUAL



Pag 2/2

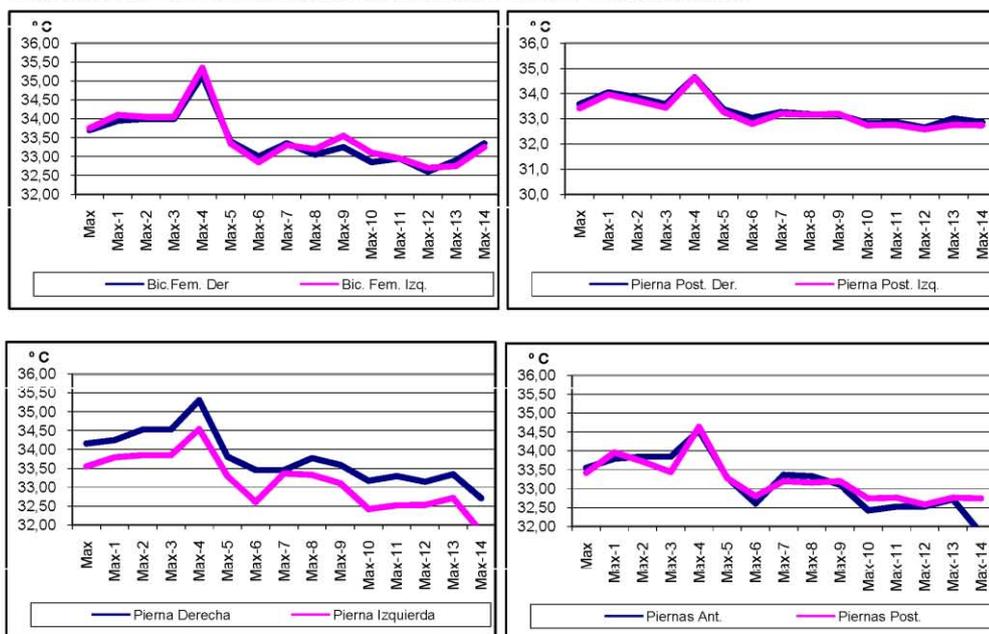
Jugador:                      Fecha: 23-8-09 Tª Ext: 25 °C Equipo:                     

Observaciones: 0

DATOS DEL MIEMBRO INFERIOR POSTERIOR: NOTA: Max = Máximo; X = Media; H = Histórico; G = Grupo

ZONA	Max	Max-1	Max-2	HM	MG	X	X-1	X-2	HX	XG
BFin D	33,8	34,1	34,1	33,5±0,7	33,5±0,8	33,2	33,3	33,2	33,4±0,7	33,4±0,8
BFin I	33,7	34,2	34,1	33,5±0,7	33,5±0,8	33,0	33,6	33,4	33,4±0,7	33,4±0,8
BFex D	33,6	33,8	33,9	33,3±0,6	33,4±0,8	32,9	32,9	33,2	33,4±0,7	33,4±0,8
BFex I	33,8	34,0	34,0	33,3±0,7	33,4±0,8	33,2	33,2	33,3	33,4±0,7	33,4±0,8
P D	33,4	34,1	33,5	33,3±0,5	33,8±0,6	32,6	33,4	33,0	33,4±0,7	33,4±0,8
P I	33,6	34,3	33,9	33,5±0,5	33,8±0,6	32,8	33,5	33,1	33,4±0,7	33,4±0,8
Gin D	32,8	33,7	33,4	32,9±0,5	33,1±0,6	32,0	33,1	32,7	33,4±0,7	33,4±0,8
Gin I	33,0	33,7	33,2	33,0±0,5	33,2±0,7	32,2	33,1	32,6	33,4±0,7	33,4±0,8
Gex D	33,0	33,8	33,0	32,7±0,6	32,9±0,8	32,1	33,0	32,5	33,4±0,7	33,4±0,8
Gex I	33,0	33,6	33,4	32,8±0,6	32,9±0,7	32,1	33,0	32,6	33,4±0,7	33,4±0,8
Lum	34,9	34,8	35,2	34,4±0,7	34,2±0,7	33,7	33,6	34,3	33,4±0,7	33,4±0,8
IP D	33,6	34,1	33,9	33,3±0,5	33,5±0,7	33,6	34,1	33,9	33,4±0,7	33,4±0,8
IP I	33,4	34,0	33,7	33,2±0,6	33,4±0,7	33,4	34,0	33,7	33,4±0,7	33,4±0,8
IP	33,5	34,0	33,8	33,3±0,5	33,4±0,7	33,5	34,0	33,8	33,4±0,7	33,4±0,8

### EVOLUCION DE DETERMINADAS ZONAS EN LAS ÚLTIMAS 15 EVALUACIONES.



### COMENTARIOS ADICIONALES:

## 10.4. ANEXO IV: PROTOCOLO DE REALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍAS TERMOGRÁFICAS

1. **Información previa** para el sujeto. Además de la sesión informativa, se le da una hoja con las siguientes recomendaciones:

- a. Se realizarán todas las evaluaciones en el **mismo horario**: por la mañana antes de entrenar.
- b. No realizar **ejercicio físico** durante las 6 horas anteriores a la evaluación.
- c. Evitar la aplicación de **cremas, geles o spray** sobre la piel de la zona a evaluar.
- d. Evitar la toma de **café, alcohol** o estimulantes en las 6 horas anteriores.
- e. No **fumar** en las 6 horas anteriores.
- f. Informar al técnico si ha recibido algún tipo de **tratamiento** o masaje.
- g. Evitar tomar directamente el **sol** o sesiones de rayos UVA antes de la evaluación.
- h. Informar al técnico sobre la toma de algún **fármaco** o tratamiento.
- i. Evitar tomar una **ducha** o baño antes de la evaluación.
- j. No alterar las **costumbres** de descanso o comidas.

2. El día de la toma de datos se procede a realizar las siguientes fases antes de la toma de fotografías:

- a. El primer día tras la llegada, se le **informa** brevemente sobre las características de la termografía, la finalidad de la toma de datos y de las características (incluyendo anonimato y tratamiento de datos).
- b. El primer día se firma del **consentimiento informado**.
- c. El sujeto ha de **desvestirse** quedándose en ropa interior (las mujeres preferiblemente sin sujetador) y permanecer alrededor de 10 minutos de

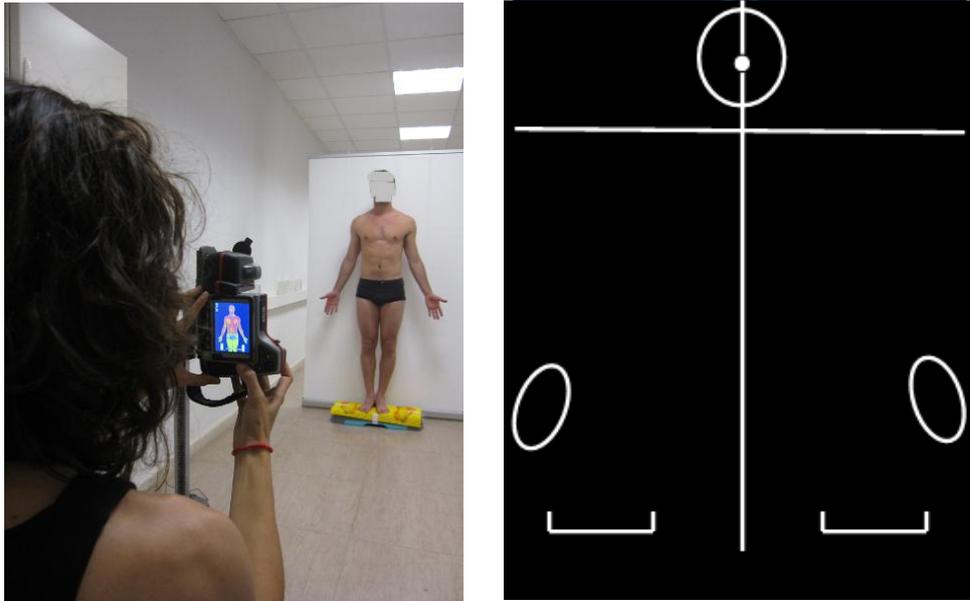
pie para aclimatarse a la temperatura de la sala, que debe estar entre los 18°C y 25°C (ideal 21°C)

- d. Durante el tiempo de aclimatación se le hacen las preguntas correspondientes del cuestionario de evaluación, en el cual se registran la existencia de posibles factores de influencia.

- 3. Con respecto al **técnico o investigador**, debe realizar las siguientes tareas antes de comenzar la toma:

- a. Preparar la sala, si es posible, a una temperatura adecuada (entre 18°C y 25°C)
- b. Tener preparada la cámara termográfica.
- c. El trípode para la cámara.
- d. El step para guiar los pies en la toma de datos.
- e. Estación meteorológica para registro de datos térmicos ambientales.
- f. Fondo ó roll-up uniforme para no distorsionar la imagen térmica.
- g. Cuaderno de toma de datos con cuestionario para cada sujeto.
- h. Ordenador encendido con software para la transferencia de fotos y análisis.

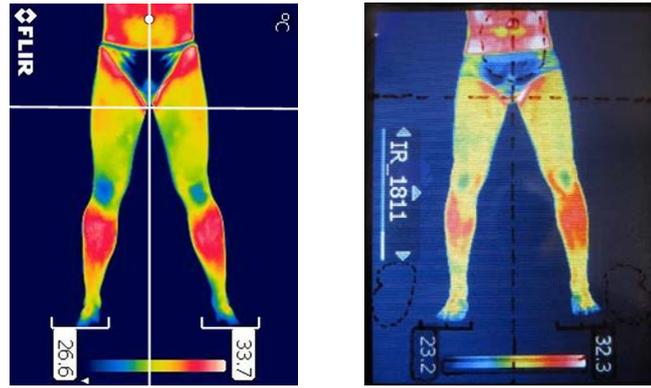
- 4. La **colocación de la cámara** para la toma de imágenes suele estar entre los 3 y 4 metros del step (en función de la altura del sujeto). Con respecto a la altura de la cámara, ésta se situará de manera que el centro de la imagen coincida con el centro geométrico del área a evaluar (aproximadamente 65 cm en la toma inferior y 125 cm en la toma superior). Es importante mantener el objetivo de la cámara perpendicular a la superficie a evaluar, sin inclinarla. Existirá un esquema para guiar al técnico sobre la colocación del sujeto, ver figura 36 Y 37.



**Figura 36.-** Colocación del técnico tras la cámara y esquema que se utiliza para guiar al técnico en la correcta toma de fotografía.

5. Durante la **toma de las imágenes del miembro inferior**, el sujeto tiene que seguir las siguientes instrucciones:

- El sujeto se coloca de pie.
- Apoyando los pies sobre una plataforma elevada (de unos 10cm).
- Manteniendo una postura anatómica (lo más vertical y simétrica posible).
- Piernas abiertas un poco más de la altura de los hombros (unos 40 cm).
- Pies rectos en dirección a la cámara.
- Mirada al frente.
- Brazos en cruz o manos a la nuca para evitar que salgan en la imagen.
- La totalidad de los pies ha de ser claramente distinguible del fondo.
- Se utiliza el esquema visto anteriormente para guiar la toma de datos, utilizando como referencia:
  - Las dos marcas inferiores horizontales como los lugares en los que deben aparecer los pies.
  - El cruce de ambas líneas coincide aproximadamente con la zona de los abductores.
  - El punto superior en la línea vertical ha de coincidir con el ombligo.



**Figura 37.-** Guia para la toma de fotografias termográficas.

# 10.5. ANEXO V: CUESTIONARIO PARA EL REGISTRO DE FACTORES INCIDENTES EN LA EVALUACIÓN TERMOGRÁFICA

**FICHA GRUPAL DE EVALUACIÓN TERMOGRÁFICA**

INSTITUCIÓN \_\_\_\_\_ DEPORTE \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Fecha de la evaluación \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Hora \_\_\_\_:\_\_\_\_:\_\_\_\_ Temperatura en la sala \_\_\_\_ °C exterior \_\_\_\_ °C Humedad relativa \_\_\_\_ %  
 presión atmosférica \_\_\_\_ mmHg Dimensiones de sala \_\_\_\_ m x \_\_\_\_ m x \_\_\_\_ m Temperatura ambiente refleja \_\_\_\_ °C Válido   
 Lesionado: sí  no  Tipo de piel  1  2  3  4  5  6  7  8

**TABLA RESUMEN**

NOMBRE Y APELLIDOS	FOTOS	HASTA	DORMIR	PIEL	ÚLTIMA	OBJETIVO	INTENSIDA	FASE	CREMA	MASAJE	EJERCICIO	SEXO*	CAFÉ	ALCOHOL	TABACO	SOL	FÁRMACO	DUCHA	REGLA*	ZONAS DE DOLOR	OBSERVACIONES	
1																						
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
10																						
11																						
12																						
13																						
14																						
15																						
16																						
17																						
18																						
19																						
20																						
21																						
22																						
23																						
24																						
25																						

**OBJETIVO SESIÓN**

- 1 Resistencia
- 2 Velocidad
- 3 Fuerza
- 4 Flexibilidad
- 5 Coordinación
- 6 Agilidad
- 7 Técnico-lact
- 8 Variado

**INTENSIDAD**

- 1 Muy intenso
- 2 Intenso
- 3 Moderado
- 4 Ligero
- 5 Muy ligero
- 6 Descanso

**FASE DE LA PLANIFICACIÓN**

- 1 Descanso
- 2 Básica Genérica
- 3 Específica
- 4 Complementiva

**OBSERVACIONES**

Referir la causa cuando la recuperación sea positiva. En las zonas de dolor indicar el número y la intensidad según la tabla. Utilizar observaciones para cualquier otro de especial importancia.





### 10.8. ANEXO VIII: TABLA DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS ANOVA DE UN FACTOR

Zona	Q	N	Temperaturas Máximas					Temperaturas Médias				
			Descriptivos		Anova			Descriptivos		Anova		
			Media	DT	gl	F	p valor	Media	DT	gl	F	p valor
<i>AduD</i>	1 <sup>ab</sup>	192	32,94	0,90	2	52,647	<0,05	32,12	0,84	2	83,285	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	199	33,46	0,77				32,78	0,75			
	3 <sup>ab</sup>	206	34,31	1,13				33,60	0,80			
	Total	597	33,60	1,10				32,89	1,00			
<i>Adul</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,93	0,88	2	63,822	<0,05	32,13	0,81	2	88,822	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,45	0,76				32,74	0,72			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,20	0,79				33,58	0,81			
	Total	607	33,54	0,96				32,84	0,98			
<i>RodD</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,22	0,65	2	86,056	<0,05	30,77	0,60	2	60,836	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	32,80	0,59				31,47	0,57			
	3 <sup>ab</sup>	207	33,45	0,77				32,00	0,83			
	Total	607	32,84	0,84				31,52	0,84			
<i>RodI</i>	1 <sup>ab</sup>	198	32,34	0,58	2	73,463	<0,05	30,83	0,54	2	49,631	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	32,79	0,54				31,47	0,53			
	3 <sup>ab</sup>	207	33,41	0,76				31,99	0,81			
	Total	605	32,86	0,78				31,58	0,79			
<i>MusAcD</i>	1 <sup>ab</sup>	187	32,85	0,80	2	82,843	<0,05	31,86	0,66	2	120,421	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	190	33,44	0,63				32,57	0,58			
	3 <sup>ab</sup>	195	34,49	1,11				33,40	0,70			
	Total	572	33,62	1,11				32,66	0,90			
<i>MusAcI</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,80	0,77	2	107,890	<0,05	31,90	0,62	2	142,094	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,40	0,64				32,56	0,57			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,26	0,75				33,44	0,77			
	Total	607	33,50	0,94				32,65	0,92			
<i>TobD</i>	1 <sup>ab</sup>	188	31,91	0,74	2	26,340	<0,05	30,71	0,50	2	5,650	<0,05
	2 <sup>a</sup>	200	32,53	0,61				31,66	0,64			
	3 <sup>a</sup>	207	32,77	1,06				31,53	1,21			
	Total	595	32,44	0,91				31,51	1,02			
<i>TobI</i>	1 <sup>ab</sup>	198	32,09	0,71	2	34,723	<0,05	30,97	0,81	2	37,752	<0,05
	2 <sup>a</sup>	200	32,73	0,63				31,79	0,60			
	3 <sup>a</sup>	207	32,96	0,92				31,96	0,95			
	Total	605	32,60	0,85				31,62	0,90			
<i>PieAeD</i>	1 <sup>ab</sup>	199	32,48	0,56	2	154,040	<0,05	31,33	0,56	2	125,808	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	199	33,08	0,66				32,05	0,62			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,13	0,80				33,07	0,76			
	Total	605	33,25	0,97				32,35	0,96			
<i>PieAeI</i>	1 <sup>ab</sup>	198	32,61	0,57	2	155,231	<0,05	31,31	0,54	2	192,239	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,07	0,52				32,07	0,53			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,03	0,67				33,03	0,68			
	Total	605	33,26	0,84				32,23	0,92			

<i>MusAeD</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,49	0,70	2	112,861	<0,05	31,26	0,63	2	124,465	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,11	0,64				32,01	0,57			
	3 <sup>ab</sup>	206	33,93	0,74				32,88	0,75			
	Total	606	33,19	0,91				32,18	0,92			
<i>MusAeI</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,44	0,64	2	117,355	<0,05	31,37	0,59	2	142,546	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,04	0,67				32,04	0,61			
	3 <sup>ab</sup>	207	33,91	0,77				32,98	0,75			
	Total	607	33,15	0,92				32,19	0,93			
<i>MusAid</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,56	0,74	2	82,882	<0,05	31,57	0,62	2	124,008	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,12	0,64				32,22	0,59			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,00	1,00				33,11	0,79			
	Total	607	33,24	1,01				32,36	0,92			
<i>MusAiI</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,51	0,71	2	97,304	<0,05	31,59	0,58	2	128,379	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,05	0,63				32,13	0,54			
	3 <sup>ab</sup>	207	33,92	0,84				33,06	0,81			
	Total	607	33,18	0,94				32,29	0,90			
<i>MusPeD</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,80	0,61	2	158,017	<0,05	31,72	0,64	2	166,806	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,30	0,51				32,37	0,56			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,29	0,70				33,41	0,73			
	Total	607	33,48	0,87				32,56	0,95			
<i>MusPeI</i>	1 <sup>ab</sup>	199	32,68	0,60	2	182,550	<0,05	31,66	0,58	2	174,851	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	197	33,17	0,49				32,27	0,51			
	3 <sup>ab</sup>	201	34,30	0,72				33,38	0,74			
	Total	597	33,39	0,91				32,51	0,95			
<i>MusPiD</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,94	0,63	2	126,332	<0,05	31,98	0,57	2	172,624	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,43	0,55				32,55	0,53			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,33	0,72				33,57	0,70			
	Total	607	33,58	0,86				32,75	0,90			
<i>MusPiI</i>	1 <sup>ab</sup>	185	33,01	0,70	2	73,447	<0,05	31,99	0,59	2	122,821	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	192	33,46	0,54				32,62	0,50			
	3 <sup>ab</sup>	196	34,48	1,14				33,49	0,70			
	Total	573	33,68	1,04				32,79	0,86			
<i>PiePeD</i>	1 <sup>ab</sup>	199	32,19	0,73	2	136,673	<0,05	31,21	0,68	2	158,165	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	32,74	0,68				31,98	0,70			
	3 <sup>ab</sup>	207	33,84	0,76				33,12	0,79			
	Total	606	32,95	1,00				32,21	1,07			
<i>PiePeI</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,21	0,65	2	150,011	<0,05	31,31	0,70	2	126,238	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	32,70	0,59				31,87	0,61			
	3 <sup>ab</sup>	207	33,79	0,77				33,01	0,81			
	Total	607	32,92	0,95				32,20	1,00			
<i>PiePiD</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,58	0,59	2	122,843	<0,05	31,56	0,63	2	118,744	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,08	0,56				32,21	0,62			
	3 <sup>ab</sup>	207	33,94	0,72				33,11	0,76			
	Total	607	33,22	0,85				32,38	0,93			
<i>PiePiI</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,69	0,63	2	95,685	<0,05	31,62	0,65	2	107,718	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,18	0,58				32,23	0,64			
	3 <sup>ab</sup>	207	33,93	0,74				33,13	0,72			
	Total	607	33,28	0,83				32,44	0,91			

## ANEXO VIII (CONTINUACIÓN)

<i>Lum</i>	1 <sup>ab</sup>	200	33,74	0,53	2	113,949	<0,05	32,62	0,60	2	112,483	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	34,08	0,44				33,05	0,48			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,83	0,61				33,85	0,69			
	Total	607	34,23	0,71				33,19	0,79			
<i>PopD</i>	1 <sup>ab</sup>	200	33,20	0,51	2	182,098	<0,05	32,17	0,57	2	170,832	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,68	0,44				32,71	0,46			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,59	0,63				33,67	0,65			
	Total	607	33,84	0,79				32,91	0,84			
<i>PopI</i>	1 <sup>ab</sup>	200	33,24	0,53	2	169,483	<0,05	32,07	0,62	2	162,151	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,71	0,47				32,66	0,51			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,59	0,61				33,65	0,67			
	Total	607	33,86	0,78				32,88	0,88			
<i>InfAD</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,48	0,60	2	126,882	<0,05	31,54	0,65	2	103,166	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,07	0,53				32,11	0,52			
	3 <sup>ab</sup>	207	33,86	0,72				32,79	0,69			
	Total	607	33,15	0,84				32,16	0,81			
<i>InfAI</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,53	0,58	2	121,793	<0,05	31,52	0,57	2	130,540	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,07	0,51				32,12	0,50			
	3 <sup>ab</sup>	207	33,81	0,67				32,86	0,70			
	Total	607	33,15	0,80				32,18	0,81			
<i>InfA</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,50	0,59	2	127,327	<0,05	31,53	0,59	2	120,668	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,07	0,52				32,11	0,50			
	3 <sup>ab</sup>	207	33,84	0,69				32,82	0,68			
	Total	607	33,15	0,82				32,17	0,80			
<i>InfPD</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,74	0,55	2	174,675	<0,05	31,76	0,59	2	187,700	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,24	0,48				32,36	0,53			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,20	0,65				33,38	0,69			
	Total	607	33,41	0,83				32,52	0,91			
<i>InfPI</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,76	0,54	2	169,868	<0,05	31,74	0,56	2	187,684	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,24	0,47				32,29	0,55			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,22	0,70				33,34	0,69			
	Total	607	33,42	0,85				32,47	0,90			
<i>InfP</i>	1 <sup>ab</sup>	200	32,75	0,54	2	177,663	<0,05	31,75	0,57	2	63,822	<0,05
	2 <sup>ab</sup>	200	33,24	0,47				32,32	0,53			
	3 <sup>ab</sup>	207	34,21	0,67				33,36	0,68			
	Total	607	33,42	0,83				32,50	0,90			