

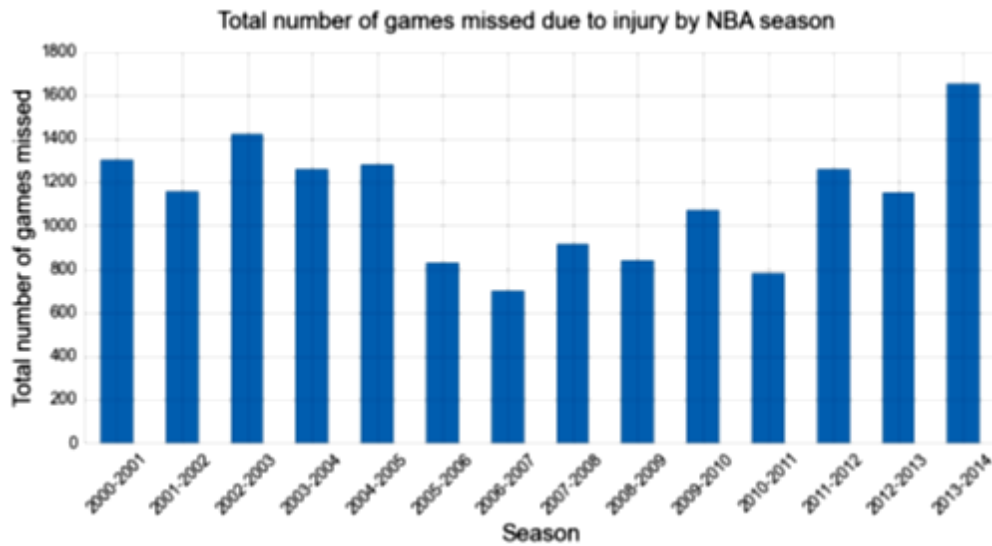
Módulo 3. Aplicación de la microtecnología en la prevención de lesiones en los deportes de equipo

En el presente módulo proponemos un marco teórico basado en la evidencia científica que permitirá establecer estrategias y aplicaciones prácticas que minimicen el riesgo de lesión en los deportes de equipo.

Para trabajar en este tema tenemos que establecer, en primer lugar, la relación entre la carga de entrenamiento y/o de competición y el riesgo de sufrir lesión. Este es un dato muy importante para facilitar la comprensión de este fenómeno. Por un lado, uno de los efectos que aparecen cuando los deportistas se lesionan es la pérdida económica que representa para el club y, en ciertas ocasiones, también para el jugador. Por ejemplo, la Premier League gastó 243 millones de euros en sueldos de jugadores lesionados en la temporada 2017-18. Esa temporada supuso un incremento del 21% respecto al gasto de la temporada anterior. El equipo que más lesiones sufrió en esa temporada fue el Arsenal con 54 lesiones. Pero el equipo que gastó más dinero fue el Manchester City al tener que pagar unos 23 millones de euros, calculados en función de los sueldos de los jugadores. Además, durante el periodo en el que los deportistas no estuvieron disponibles para la práctica deportiva, cada lesión costó un promedio de unos 362.000 euros por jugador aproximadamente. Las lesiones más habituales fueron a nivel de la rodilla y a nivel muscular (BBC Sport, 2018).

Otro de los factores que podemos utilizar para cuantificar la influencia de las lesiones en los equipos es computar el número de partidos perdidos por esta causa en los diferentes equipos. En la figura 1, podemos ver cómo ha evolucionado desde la temporada 2000 a la temporada 2014 el número de partidos totales perdidos para cada uno de los equipos de la NBA. El índice menor fue en la temporada 2006 - 2007, con apenas 700 partidos perdidos entre todos, hasta llegar a más de 1600 en la temporada 2013 - 2014.

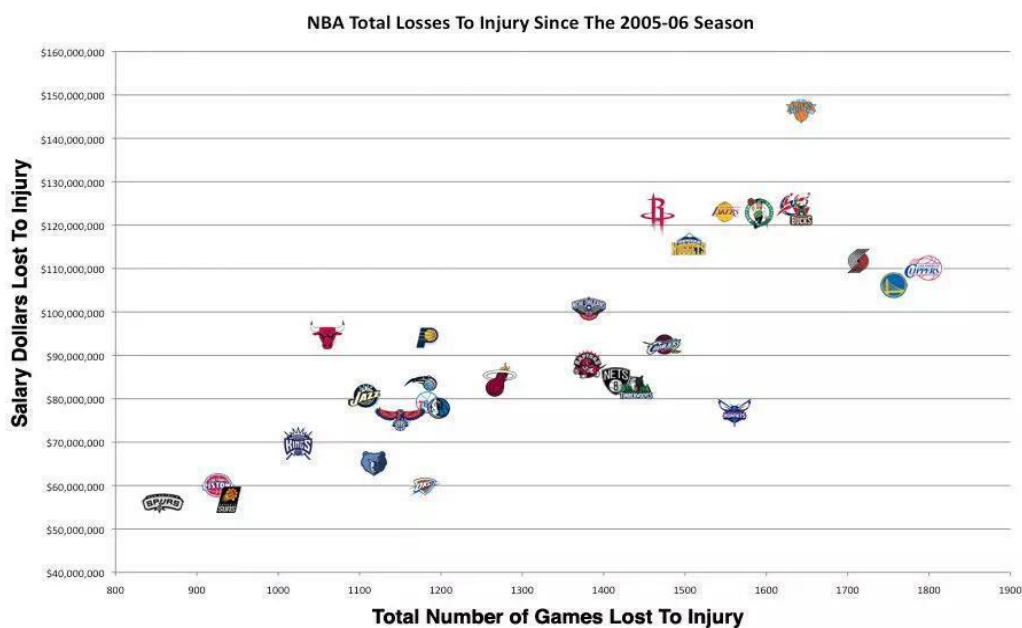
Figura 1: Total de juegos perdidos debido a lesiones de jugadores



Fuente: Hisham et al., 2016, p. 7.

Otro análisis establece el número total de partidos perdidos por lesión y su relación con el salario que perciben los jugadores lesionados durante su ausencia por lesión. La figura 2 muestra los equipos que menos gastaron por este motivo durante la temporada 2005 y 2006 en la NBA (Phoenix Suns y San Antonio Spurs).

Figura 2: NBA: pérdidas totales por lesiones desde la temporada 2005 - 2006



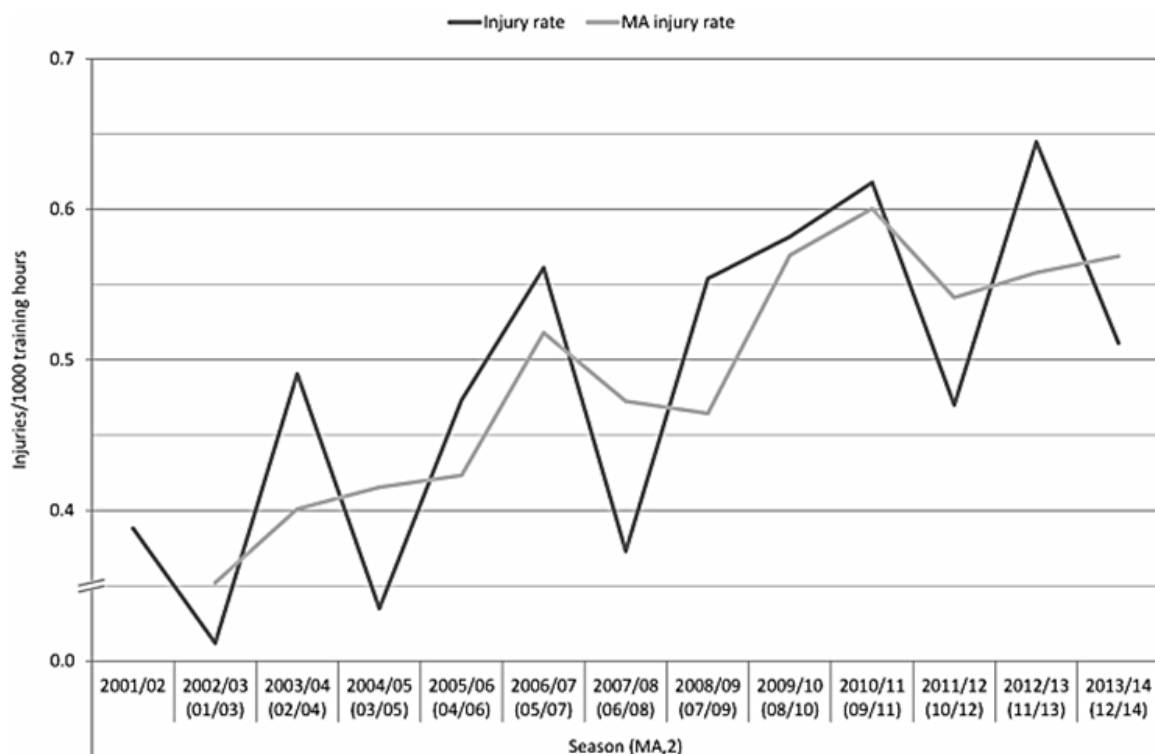
Fuente: Moreno, J., 2015, <http://www.move2thrive.com/kinein-blog/2015/5/9/hey-nbacant-you-get-your-athletes-bigger-chairs>

Una de las lesiones que más incidencia tiene en el fútbol es la lesión de isquiotibiales. Esta lesión provoca una baja media de



diecisiete días tanto en entrenamientos como en partidos. Además, el deportista que sufre la lesión disminuye su posterior rendimiento y su recuperación cuesta unos 280.000 euros en promedio. Para entender las lesiones y las posibles estrategias de prevención, podemos empezar por analizar los datos de la figura 3. En esa publicación, se muestra cómo anualmente se han incrementado un 4% las lesiones sufridas a nivel isquiotibial durante los entrenamientos, comprendiendo el periodo desde la temporada 2001 a la 2013 - 2014.

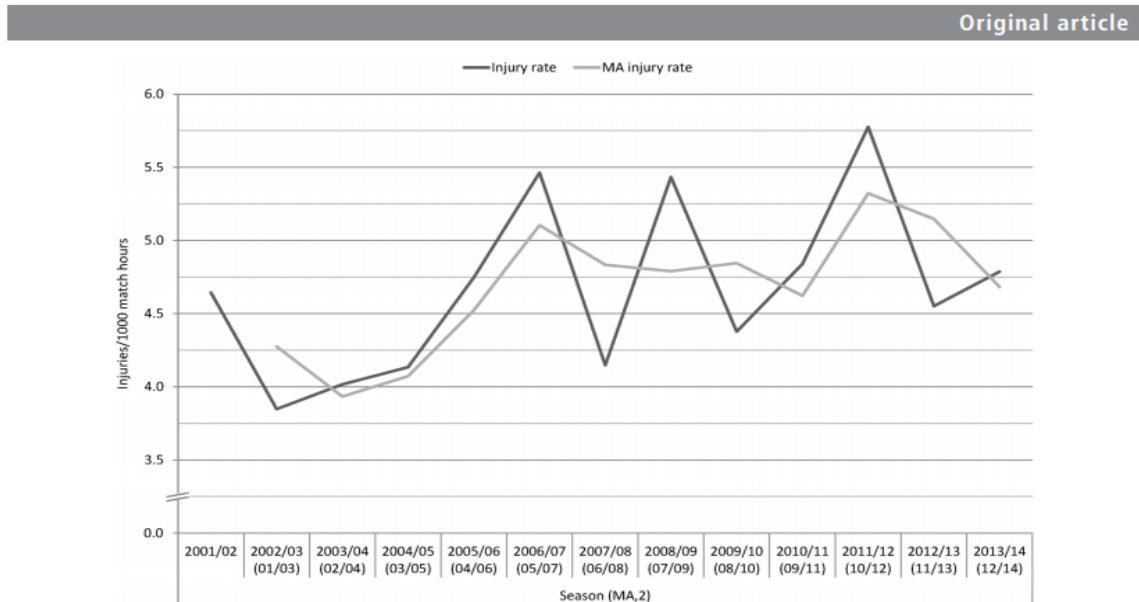
Figura 3: Aumento anual en lesiones de isquiotibiales en entrenamiento de futbolistas profesionales



Fuente: Ekstrand et al., 2016, p. 4.

Una tendencia similar con un incremento del 1,5% se ha apreciado durante los partidos.

Figura 4: Aumento anual en lesiones de isquiotibiales en partido de futbolistas profesionales

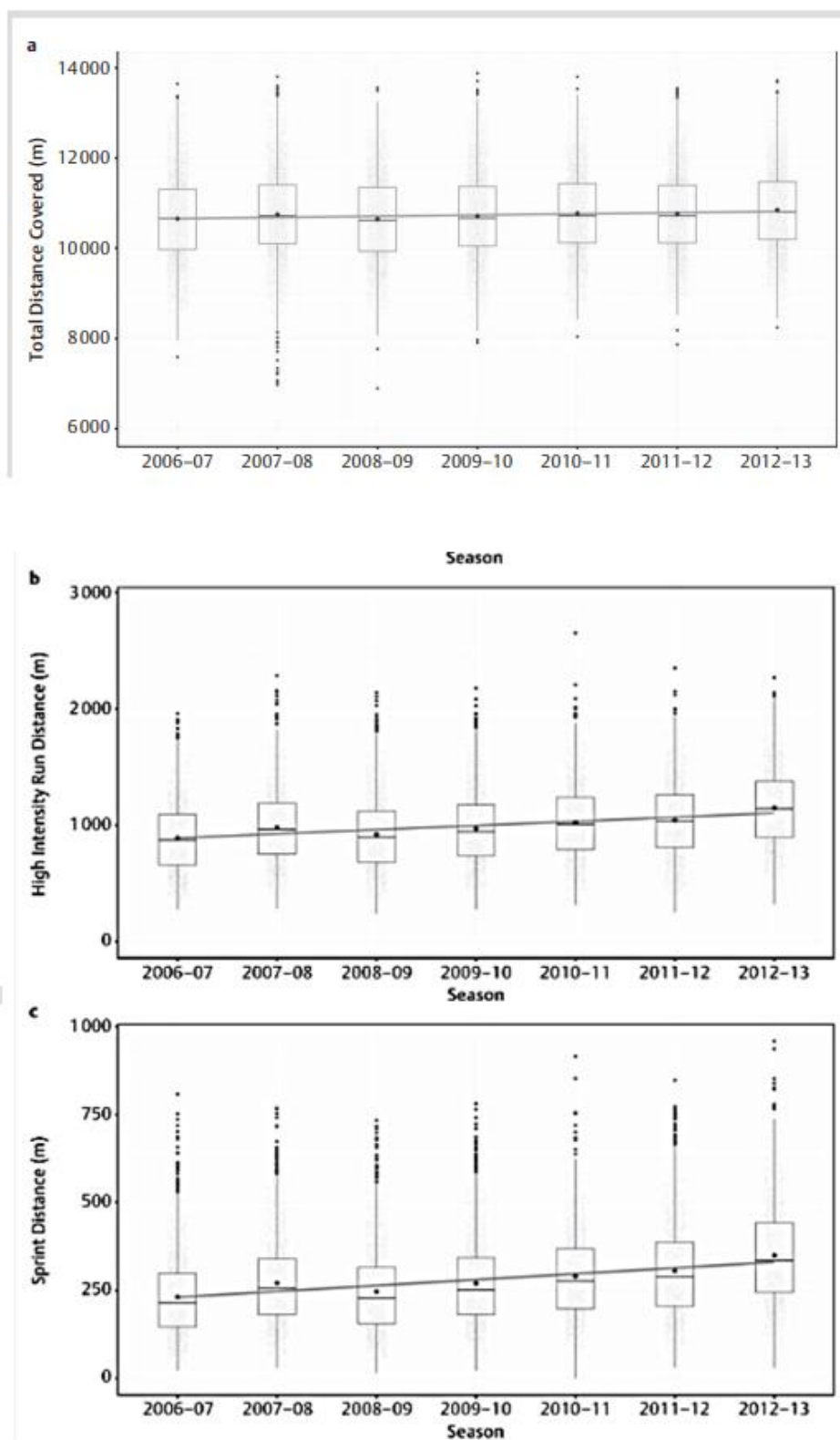


Fuente: Ekstrand et al., 2016, p. 5.

Continuando con el análisis sobre la prevención de lesiones es importante citar la publicación de Barnes, Archer, Hogg, Bush y Bradley (2014) en la que cuantificaron las demandas técnicas y físicas que se producían en la Premier League. En ese estudio, se consideró una variable de volumen (distancia total recorrida) y se observó que no hubo demasiadas diferencias, indicando tan solo una ligera tendencia a incrementarse. Sin embargo, si analizamos la distancia de alta intensidad y la distancia esprintando, su tendencia indica una pendiente más pronunciada. Estos datos fueron tomados desde la temporada 2006 - 2007 a la temporada 2012 - 2013.



Figura 5: Cuantificación de las demandas técnicas y las demandas físicas en la Premier League



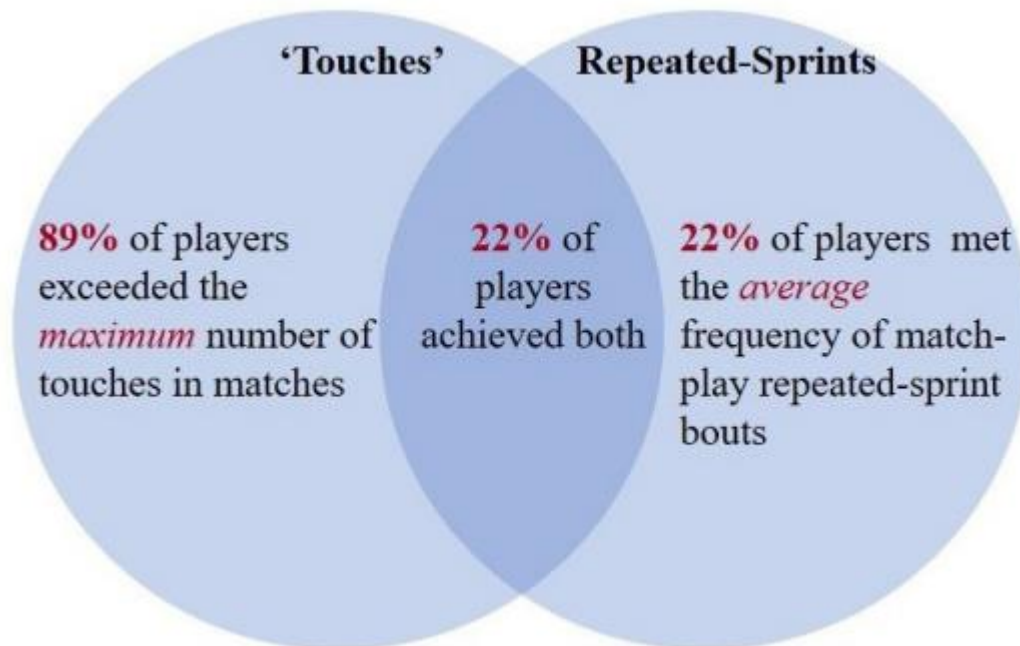
Fuente: Barnes, 2014, p 1097.

En esta misma dirección, es importante analizar la publicación de Nassis, Brito, Figueiredo, y Gabbett (2019) en la que muestran que,



al realizar juegos reducidos (small side games) en fútbol, tan solo el 22% de los jugadores alcanzan los requerimientos que precisan en la competición, refiriéndose a esprints repetidos (figura 6).

Figura 6: Comparación de cantidad entre toques y esprints repetidos en juegos reducidos



Fuente: Nassis et al., 2019, p. 1.

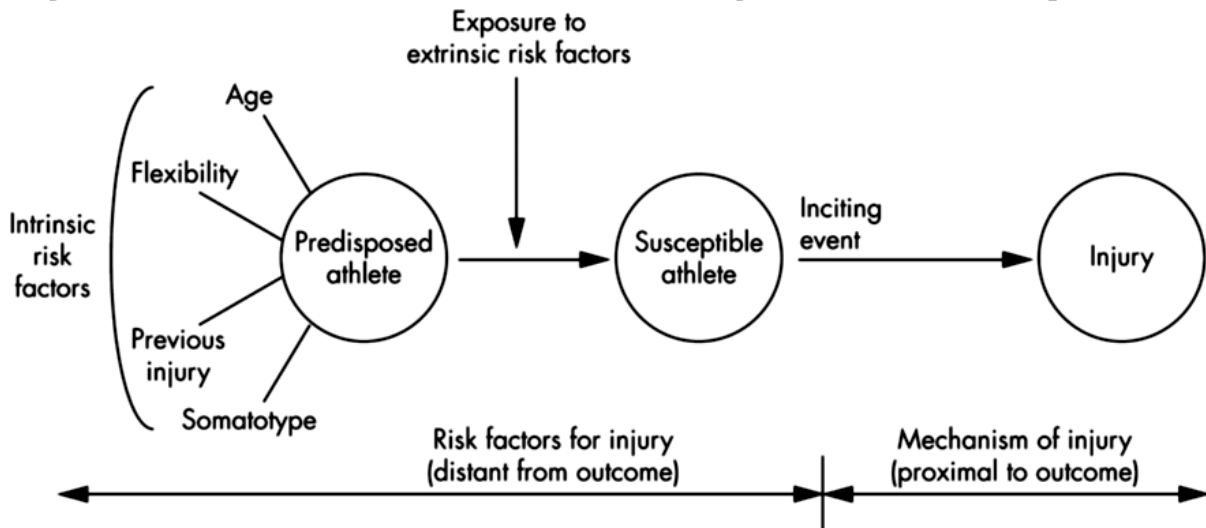
Sin embargo, si analizamos los juegos reducidos, vemos que el 89% de los jugadores realizaron más toques de los que podrían realizar durante un partido. Y, por último, en relación a estos datos, tan sólo el 22% de los jugadores analizados consiguieron alcanzar tanto los requerimientos de esprints repetidos como de toques a nivel técnico que realizarían en un partido. Por lo tanto, con esta información podemos concluir que debemos poner en valor la utilización de las tareas de los juegos reducidos, pero tenemos que complementarla con otro tipo de tareas que nos permitan alcanzar, en este caso, las demandas físicas de esprints tanto en número como en distancia total recorrida.

Por otro lado, es muy importante analizar los modelos de etiología de las lesiones. Así, por ejemplo, en el año 1994, Meeuwisse publicaba un estudio en el que establecía un cambio en el análisis. Pasaba de analizar un único factor como causa de la lesión a un análisis de más factores que podían incidir en la lesión (análisis multifactorial), además de proponer la utilización de análisis multivariados en lugar de univariados. Eso nos iba a permitir entender un poco mejor el origen de las lesiones.

La figura 7 resume los factores que se utilizaron para entender el riesgo de lesión. Por un lado, se estudiaron los factores de riesgo

internos, es decir, los propios del jugador (la edad, la flexibilidad, las lesiones previas y el somatotipo de cada uno de ellos, entre otros). Pero estos jugadores participaban en un entorno y se analizaron también los factores de riesgo extrínsecos que los hacían susceptibles de sufrir una lesión. De esta forma, diferenciamos básicamente dos zonas: la zona de riesgos para la lesión (los factores de riesgo individuales y la exposición a los factores externos) y la zona del mecanismo lesivo (posible causante de la lesión).

Figura 7: Modelo multifactorial de etiología de lesiones deportivas

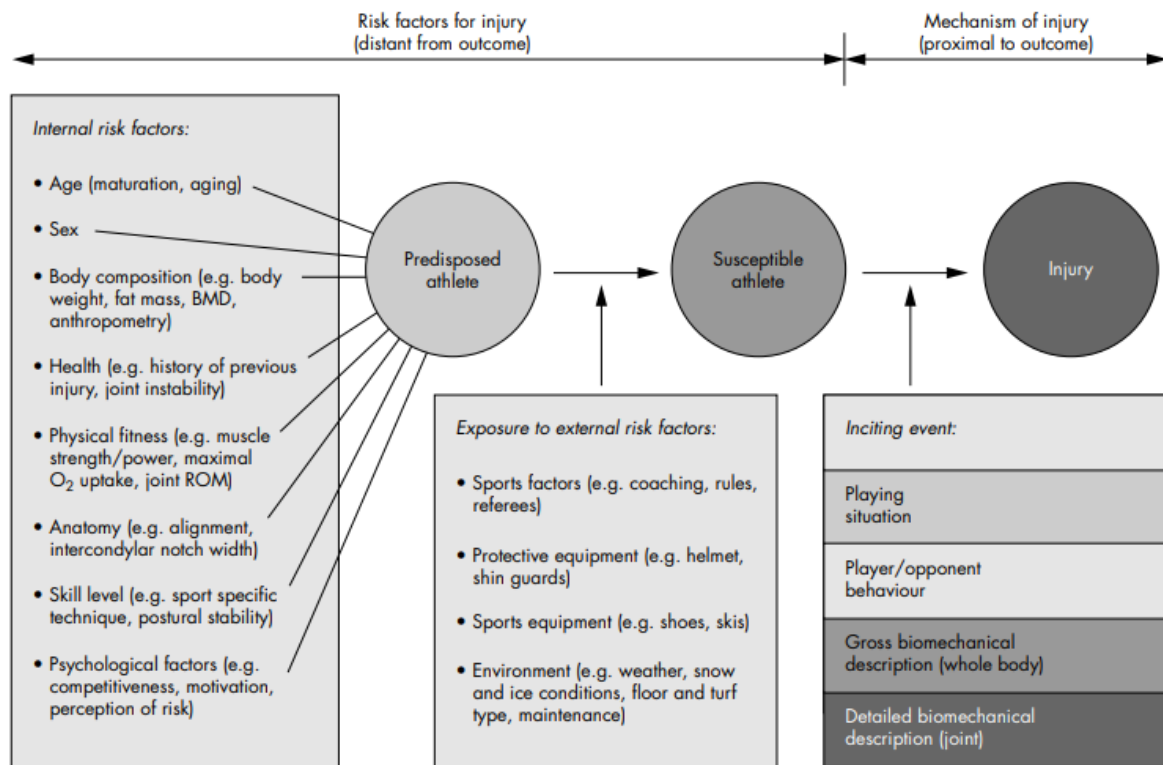


Fuente: Meeuwisse, 1994, p. 168.

Esta publicación fue ampliada unos años después por Bahr y Krosshaug (2005). Partiendo de aquel planteo, los autores mostraron una serie de factores intrínsecos más detallados: edad, sexo, composición corporal, grasa corporal, peso total, salud, nivel de habilidades de los sujetos y factores psicológicos, como la competitividad, la motivación y el estrés. Añadieron posibles inestabilidades en las articulaciones, acondicionamiento físico -consumo de oxígeno, amplitud de movimiento- y si había diferencias de alineamiento en articulaciones, entre otros factores. Se analizaron, además, con mayor detenimiento, los factores extrínsecos del entorno que anteriormente habían sido únicamente mencionados. Algunos de los riesgos de factores externos que se tuvieron en cuenta fueron: los factores deportivos (las reglas, los árbitros que participaban en las competiciones), la protección del equipo (si se utiliza casco, el tipo de superficie del suelo), el equipamiento deportivo (tipo de calzado, por ejemplo) y el ambiente (si se realizaba en condiciones outdoor, si había nieve, lluvia, etc.). Y, por último, se determinaron con mayor detalle los mecanismos lesivos de tal forma que incluían la situación del juego, el comportamiento tanto del jugador como de su oponente y también un análisis completo biomecánico del movimiento (a nivel global del cuerpo pero también a

nivel local). Todo esto derivaba en un mejor análisis del mecanismo lesivo.

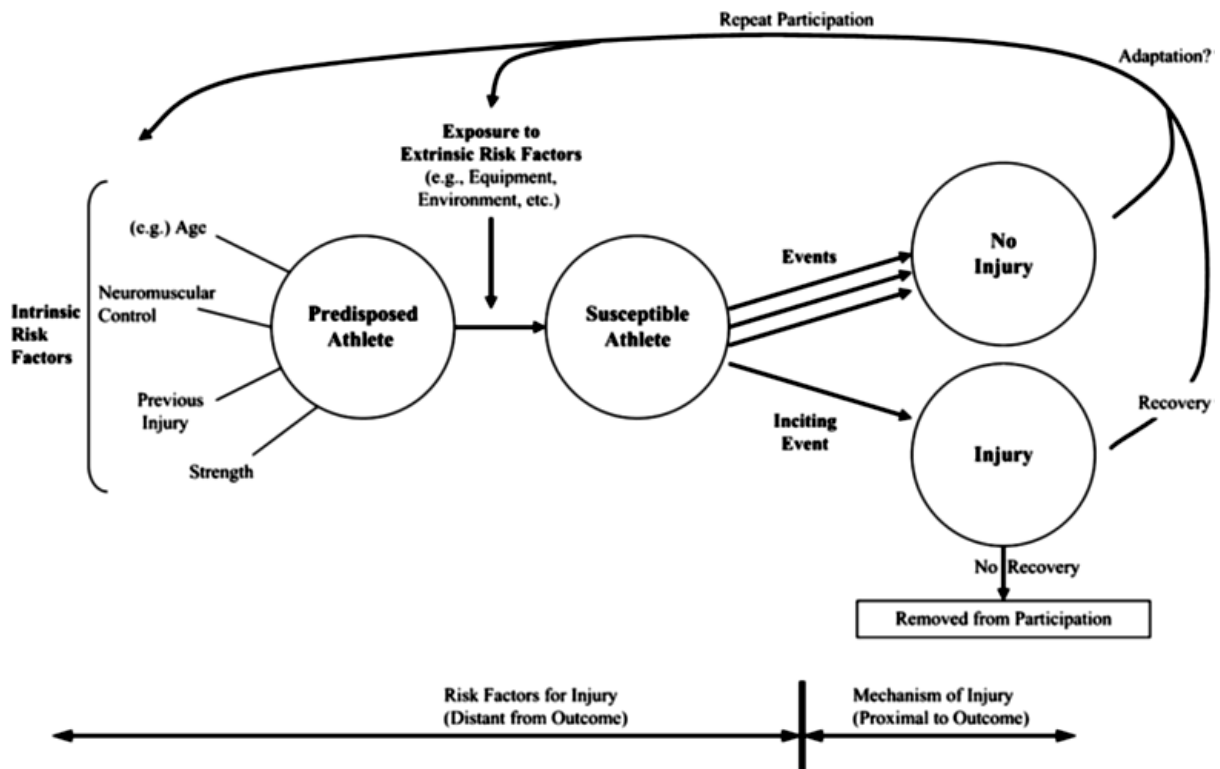
Figura 8: Modelo integral de causalidad de lesiones



Fuente: Bahr y Krosshaug, 2005, p. 327.

Un tercer paso que exponen Meeuwisse, Tyreman, Hagel, y Emery (2007) podría resumirse como una aproximación lineal dinámica del proceso. Hasta el momento, teníamos una serie de factores de riesgo internos, externos, un mecanismo lesivo y solo se contemplaba la lesión. A partir de este artículo, se comienza a considerar que un mecanismo puede derivar en lesión o puede no hacerlo. Si no lo hace, esa no lesión va a poder generar adaptaciones positivas en los factores de riesgo internos del jugador debido al entrenamiento. Por ejemplo, la sesión de entrenamiento podría mejorar el control neuromuscular del jugador. Y, por otro lado, si se produce la lesión, esta necesitaría una recuperación afectando directamente a los factores de riesgo intrínsecos ya que el deportista va a tener como uno de los factores de riesgo a esa lesión previa.

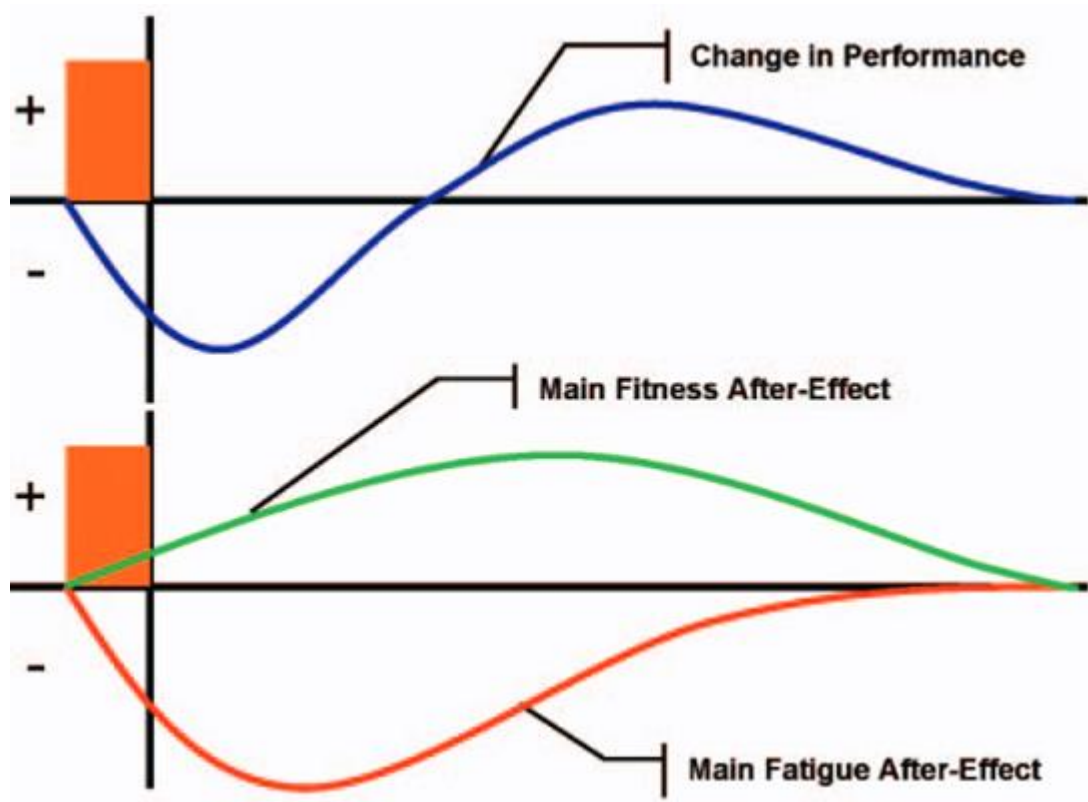
Figura 9: Modelo dinámico y recursivo de etiología en lesiones deportivas



Fuente: Meeuwisse et al., 2007, p. 217.

Una vez revisados los diferentes modelos, debemos focalizar la atención en la carga de entrenamiento. La publicación de Loren y Bradford (2003) recupera el estudio de Banister, en el que analizaba la dosis y la respuesta en el entrenamiento, pero solo con una visión de rendimiento, nunca analizando y previendo su efecto en la probabilidad de sufrir lesiones. En la figura 10 vemos cómo se produce, según la teoría bifactorial, un estrés (carga de entrenamiento) que produce una serie de efectos negativos manifestados en forma de fatiga y una serie de efectos positivos relacionados con el fitness que pueden derivar en una sobrecompensación que nos permite estar por encima del nivel previo al estímulo. Hay un momento en que los efectos positivos superan a los efectos negativos y es entonces cuando se manifiesta la "supercompensación", tal como mostraba Banister en sus modelos de análisis del rendimiento.

Figura 10: Teoría fitness - fatiga

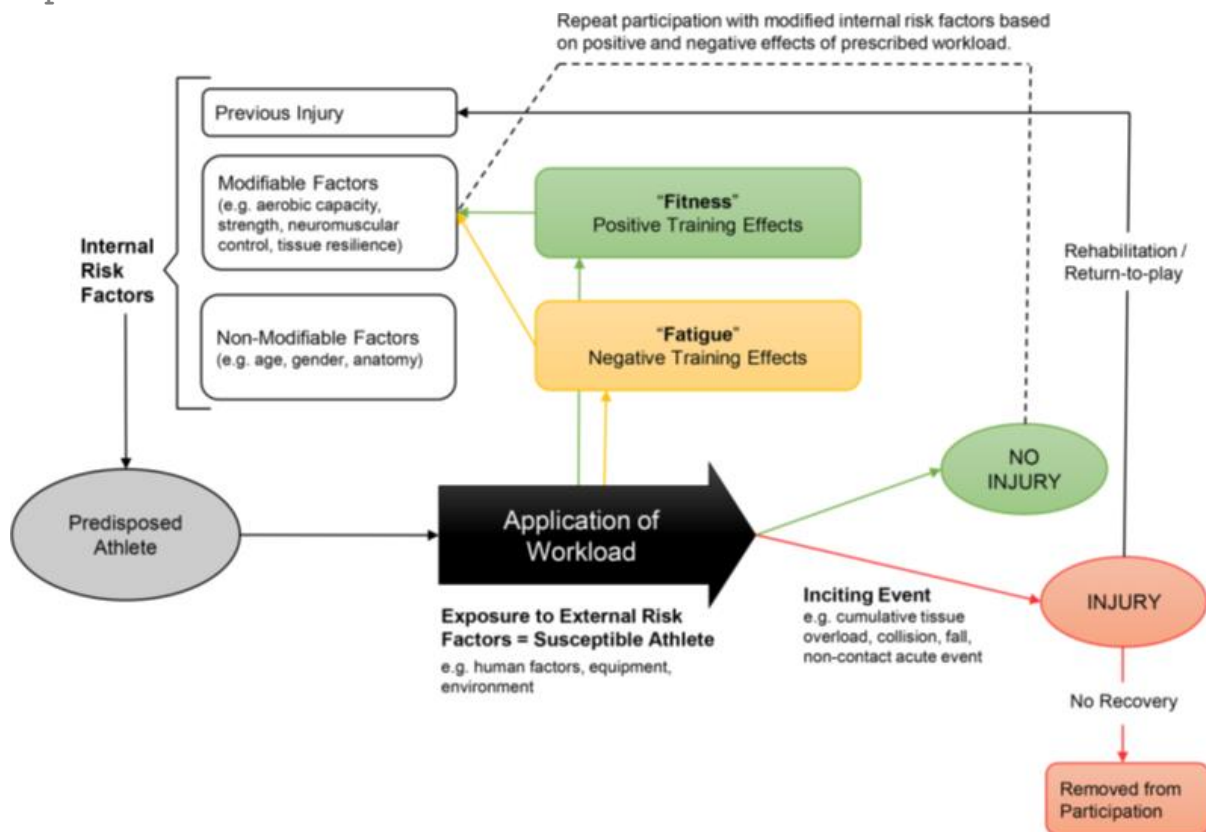


Fuente: Loren, 2003, p. 43.

Sin embargo, las lesiones no han sido analizadas desde este enfoque. Cuando se produce una lesión de ligamento cruzado anterior, se acostumbra a pensar en el mecanismo lesivo en primer lugar. Sin embargo, no se tiene en cuenta qué ha podido pasar en los momentos precedentes, es decir, qué carga soportó el deportista el día anterior, la semana anterior, etcétera. Estos aspectos relacionados con la carga de entrenamiento podrían tener también cierta relevancia. La carga de entrenamiento no es un factor de riesgo intrínseco ni un factor extrínseco, sino que es el vehículo mediante el cual se pueden producir las lesiones deportivas.

Windt y Gabbett (2016) establecieron una propuesta para ubicar la carga de entrenamiento y/o de competición dentro del análisis del modelo de la etiología de las lesiones deportivas. Estos autores también distinguen los factores de riesgo intrínsecos y extrínsecos y, además, los efectos (positivos y negativos) que la carga va a producir en el deportista. Si no se produce una lesión, los factores de riesgo internos se verán afectados de una manera o de otra después de esa carga. Si se produce una lesión, al igual que en el modelo anterior, existirá una repercusión, puesto que el atleta será más susceptible de sufrir una nueva lesión.

Figura 11: Modelo de la etiología de origen de las lesiones deportivas



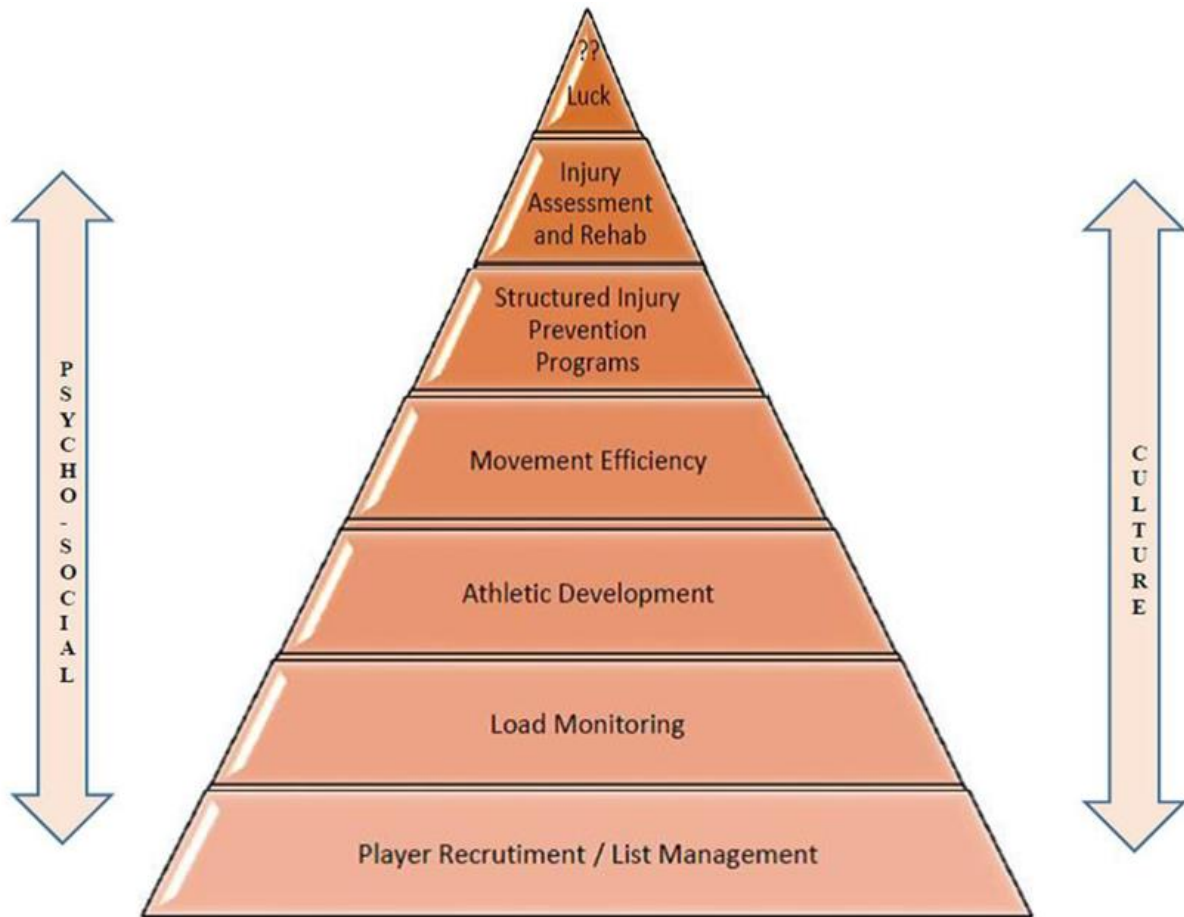
Fuente: Windt y Gabbett, 2006, p. 6.

El acondicionamiento físico puede producir adaptaciones positivas en la condición física del jugador. Las adaptaciones estarán asociadas con una mejora de los factores de riesgo internos modificables, como la capacidad aeróbica, el nivel de habilidad o la composición corporal del jugador. Por último, los efectos negativos del entrenamiento de la carga, es decir, sus consecuencias negativas asociadas al entrenamiento principalmente a través de la fatiga, van a incidir en los factores de riesgo modificables. Esto ocasionará una disminución de determinadas funciones (como por ejemplo el control neuromuscular) que producirá una mayor vulnerabilidad ante una situación potencialmente lesiva. Es importante destacar que, a pesar de que el origen de las lesiones se aborda desde una perspectiva multifactorial, la evidencia científica señala que la carga es un factor a tener en cuenta en la prevención de lesiones y, por lo tanto, debemos incluirla tal como ya se ha presentado en el modelo de Windt y Gabbett.

Para determinar el riesgo de lesiones, normalmente, se establecen pirámides que muestran conceptos como el nivel de fuerza del deportista, la monitorización de la carga, entre otros. Sin embargo, ninguna propuesta hasta el momento había mostrado la información que se observa en la figura 12.



Figura 12: Pirámide de prevención de lesiones



Fuente: Coles, 2017, p. 2.

La figura pertenece a la publicación de uno de los médicos de los San Antonio Spurs de la NBA. La propuesta muestra que la base de la pirámide son los jugadores con los que contamos en la plantilla. La probabilidad de sufrir lesiones en una plantilla de fútbol con un promedio de edad de 40 años, ¿será igual que la de un equipo que tenga un promedio de 23 años de edad? Debido a que la edad es uno de los factores de riesgo intrínsecos, la plantilla más joven tendrá menos riesgo. La confección de la plantilla de jugadores es un elemento fundamental en la prevención de lesiones que no había sido reflejado con la claridad que se muestra en este artículo.

La pirámide continúa en orden ascendente con la monitorización de la carga, el desarrollo del acondicionamiento físico, la eficiencia en los patrones de los diferentes movimientos que podría realizar el jugador en la pista, los planes de prevención de lesiones estructurados, la readaptación después de las lesiones y, por último, el factor suerte.

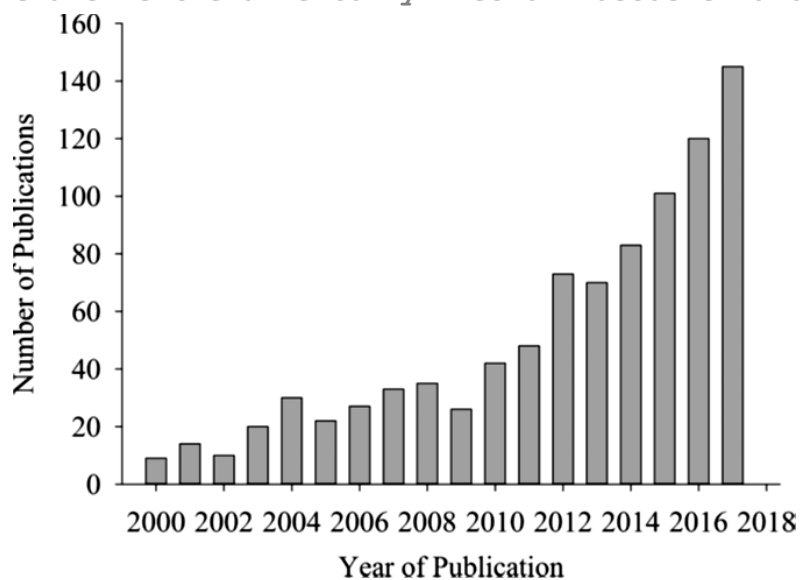
Basándonos en la publicación mencionada, podemos señalar que el trabajo del preparador físico puede incidir de manera fundamental en los siguientes niveles de la pirámide: los programas de prevención,

el desarrollo de la fuerza a través del acondicionamiento físico, la eficiencia de los patrones de movimiento y la monitorización de las cargas de entrenamiento y/o de competición.

Para establecer una estrategia de prevención de lesiones necesitamos de la aportación de todos: el entrenador, el cuerpo médico, el preparador físico y, por supuesto, la del propio jugador que tiene que ser parte de ese proceso. El trabajo y la interacción de este conjunto de personas permitirá un mejor abordaje en la reducción de la probabilidad de sufrir lesiones.

De igual manera que la literatura científica ha crecido de forma exponencial en la publicación de artículos relacionados con los sistemas IMU's y de posicionamiento GPS, se ha producido un crecimiento exponencial de las publicaciones relacionadas con la probabilidad de sufrir lesión desde el año 2000 hasta la actualidad. Todo indica que seguirán incrementándose.

Figura 13: Crecimiento en la investigación que incluye las palabras clave "entrenamiento" y "lesión" desde el año 2000



Fuente: Gabbett, 2018, p. 1.

Para ayudar de una forma rigurosa y más eficiente a la probabilidad de sufrir lesiones, debemos hallar la dosis óptima de entrenamiento que produzca los efectos de rendimiento pretendidos. En general, en la élite se entrena para mejorar el rendimiento y ganar en la competición. Por lo tanto, el objetivo es aumentar el rendimiento para conseguir la victoria, pero siempre tenemos que intentar utilizar la dosis óptima para conseguirlo porque un exceso puede generar una mayor probabilidad de sufrir lesiones. Por lo tanto, esta es ya una aplicación práctica de la monitorización de las cargas de entrenamiento y/o de competición. Debemos buscar esa carga adecuada, óptima.

Siguiendo con la monitorización de las cargas, Tim Gabbett (2012) estableció la distancia total y la distancia de alta intensidad recorrida por jugadores de rugby en los diferentes microciclos durante una temporada. Los resultados demostraron que cuando los jugadores corrían nueve metros más por sesión a más de 25 km/h, aumentaban en 2,7 veces la probabilidad de sufrir una lesión de las partes blandas sin contacto.

Figura 14: Distancia semanal total de entrenamiento y distancia cubierta en carreras de alta velocidad en el transcurso de una temporada profesional de la liga de rugby

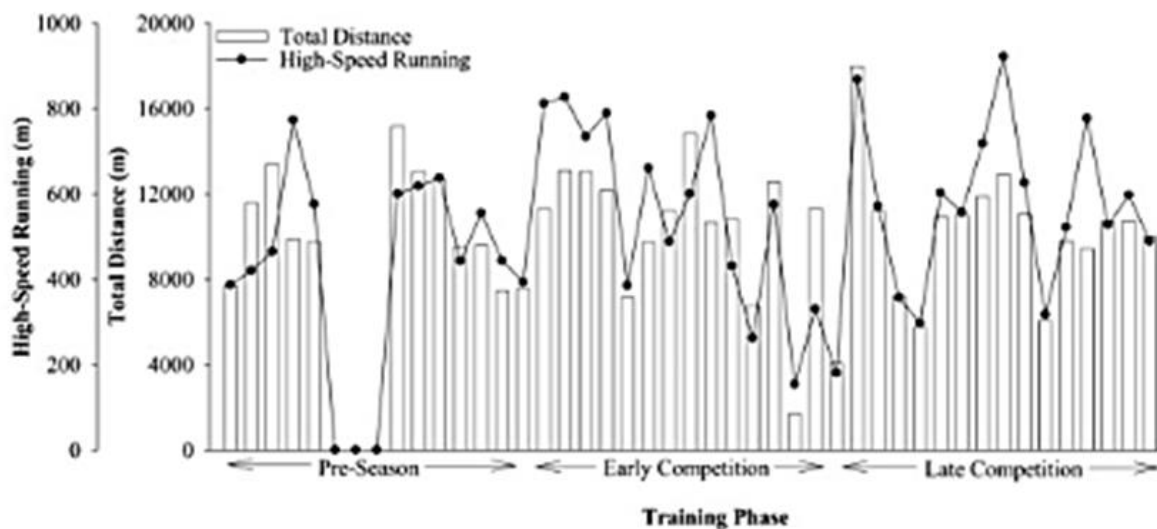


Figura 15: Datos de carga de trabajo en diferentes años de experiencia en el sistema de fútbol australiano en las distintas fases de temporada

	Preseason	In-season	Whole-season
Distance (m)			
1-2 y	350,674 (313,731-387,616)	344,088 (299,321-388,855)	694,762 (629,839-759,685)
3-6 y	375,136 (339,277-410,995)	373,924 (354,243-393,605)	749,060 (705,808-792,312)
>7 y	356,431 (316,662-396,200)	‡320,417 (262,034-378,800)	676,848 (597,150-756,547)
V1 distance (m)			
1-2 y	§ 99,883 (90,090-109,676)	99,574 (81,572-117,577)	199,458 (180,025-218,890)
3-6 y	§120,903 (111,984-129,822)	106,281 (96,846-115,716)	227,184 (211,123-243,245)
>7 y	§113,757 (100,480-127,034)	92,534 (78,612-106,457)	206,292 (182,857-229,727)
Sprint distance (m)			
1-2 y	4,322 (2,756-5,888)	5,753 (3,770-7,735)	10,075 (6,645-13,506)
3-6 y	7,480 (6,048-8,930)	7,170 (6,330-8,010)	14,660 (12,649-16,671)
>7 y	5,848 (4,900-6,796)	¶4,076 (2,819-5,332)	9,924 (8,393-11,454)
Force load (AU)			
1-2 y	26,890 (23,474-30,307)	26,787 (23,090-30,483)	53,677 (47,792-59,563)
3-6 y	28,043 (25,370-30,716)	29,814 (27,067-32,560)	57,857 (53,445-62,269)
>7 y	27,613 (23,322-31,904)	26,798 (20,973-32,622)	54,411 (45,668-63,154)
Velocity load (AU)			
1-2 y	31,608 (27,192-36,025)	31,446 (27,078-35,814)	63,055 (56,000-70,109)
3-6 y	36,475 (33,386-39,565)	36,117 (34,011-38,224)	72,593 (68,545-76,641)
>7 y	35,898 (31,536-40,260)	32,281 (26,404-38,159)	68,180 (59,331-77,029)
RVC (AU)			
1-2 y	365 (324-407)	385 (321-450)	751 (663-839)
3-6 y	386 (321-452)	440 (396-384)	827 (733-920)
>7 y	345 (290-399)	¶347 (251-443)	692 (567-817)

*AU = arbitrary units; RVC = relative velocity change.

†Data are expressed as mean (95% confidence intervals).

§Preseason load significantly greater than in-season ($p \leq 0.05$).

||1-2 y significantly lower load than 3-6 y ($p \leq 0.05$).

¶>7 years significantly lower load than 3-6 y ($p \leq 0.05$).

Fuente: Colby et al., 2014, p. 2247.

Para prevenir lesiones es importante, además, preparar a nuestros jugadores en los requerimientos que solicita la competición.

La figura 16 aporta datos prácticos y reales de nuestro equipo. Los datos pertenecen a diferentes sesiones de una temporada. La primera columna indica la distancia por minuto recorrida (media del equipo) y la segunda columna corresponde a un jugador concreto en esa sesión.



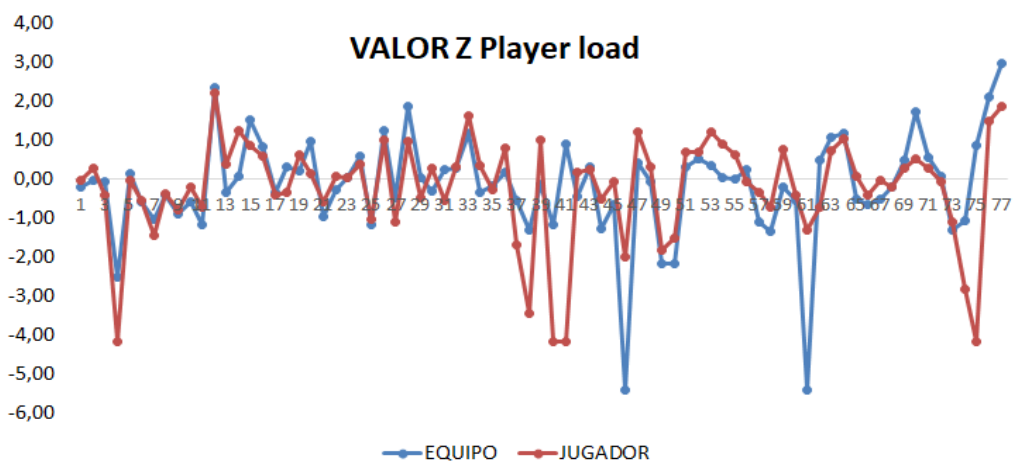
Figura 16: Comparación de datos de equipo propio con datos de un jugador propio en particular

35,93	34,39	-1	-0,62	-1	-0,75	-4%
32,41	32,57	-1	-1,08	-1	-0,96	0%
37,26	42,49	-1	-0,45	0	0,16	14%
33,45	34,79	-1	-0,95	-1	-0,71	4%
35,97	34,99	-1	-0,62	-1	-0,68	-3%
31,55	34,65	-1	-1,20	-1	-0,72	10%
57,78	49,97	1	2,24	1	0,99	-14%
37,63	33,65	-1	-0,40	-1	-0,83	-11%
40,84	38,57	0	0,02	-1	-0,28	-6%
51,51	55,36	1	1,42	1	1,60	7%
46,48	37,4	1	0,76	-1	-0,41	-20%
37,58	32,12	-1	-0,41	-1	-1,01	-15%
42,62	22,89	1	0,25	-1	-2,04	-46%
41,88	37,75	0	0,16	-1	-0,38	-10%
47,45	43,36	1	0,89	1	0,25	-9%
32,94	30,23	-1	-1,01	-1	-1,22	-8%
38,28	36,02	-1	-0,31	-1	-0,57	-6%
40,47	41,42	0	-0,03	0	0,04	2%
44,71	40,43	1	0,53	0	-0,07	-10%
31,39	27,29	-1	-1,22	-1	-1,55	-13%

Fuente: Elaboración propia.

En este estudio, se analizaron los datos mediante el mínimo cambio detectable entre todas las sesiones para establecer si existían cambios significativos o no de la variable en esa sesión respecto al resto de días incluidos. Pero con eso no era suficiente porque necesitábamos conocer cuál era la magnitud de ese cambio. Para ello se calculó el valor Z. Así, por ejemplo, se observa que podemos pasar de 0,62 a 1,08 (cuarta columna) y llegar en algún caso hasta 2,24. La sexta columna mostraba el valor Z para el individuo. La última columna hace referencia al cálculo del coeficiente de variación.

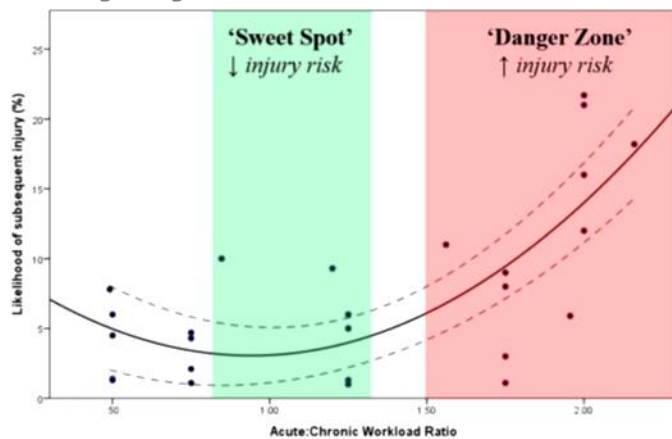
Figura 17: Análisis del valor Z durante diferentes sesiones para un jugador y para la media del equipo analizado



Fuente: Elaboración propia.

Otros conceptos importantes a tener en cuenta son la carga aguda (período corto de tiempo) y la acumulada o crónica (período más largo de tiempo). La relación entre estos dos conceptos, carga aguda y crónica a través del cociente entre la carga aguda y la carga crónica, aporta la ratio de carga aguda-crónica. De esto podemos derivar que al establecer una determinada ratio (figura 18) se delimita una zona de menor riesgo de sufrir lesión (zona verde). Por otro lado, incrementamos la probabilidad de sufrir lesión (zona roja) cuando se supera una determinada ratio.

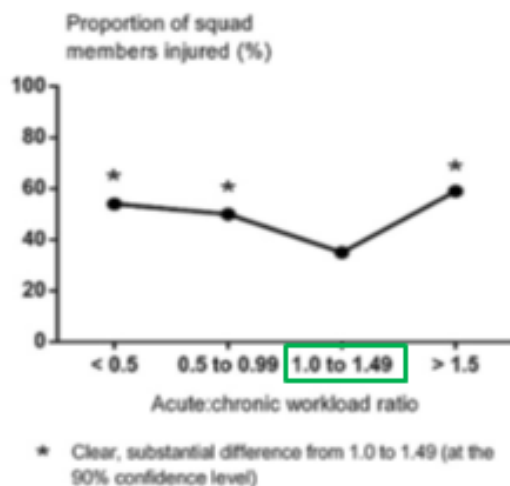
Figura 18: Guía para interpretar y aplicar los datos de carga de trabajo aguda-crónica



Fuente: Gabbett, 2016, p. 6.

Si queremos analizar esta relación en el baloncesto, podemos ver la publicación de Weiss, Allen, McGuigan, y Whatman (2017). En este estudio, los autores indicaron que el porcentaje de jugadores lesionados en el equipo analizado variaba conforme se modificaban las ratios de carga. Aparecían unas zonas de mayor riesgo de lesión respecto a una zona óptima que se establecía entre la ratio de 1 a 1,49.

Figura 19: Ratio de carga aguda-crónica en jugadores de baloncesto

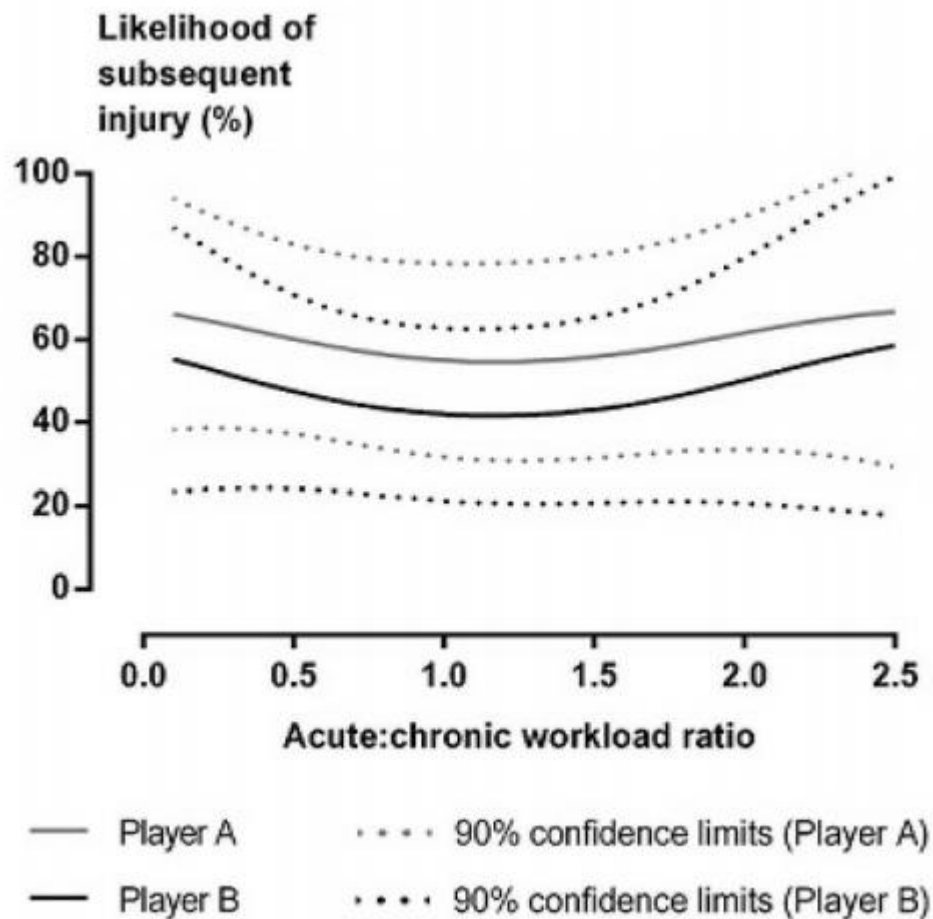


* Clear, substantial difference from 1.0 to 1.49 (at the 90% confidence level)

Fuente: Adaptado de Weiss et al., 2017.

En este sentido tenemos que prestar especial atención a la individualización. La figura 20 muestra cómo dos jugadores del mismo equipo presentan una probabilidad de sufrir lesión diferente ante una misma ratio de carga aguda-crónica.

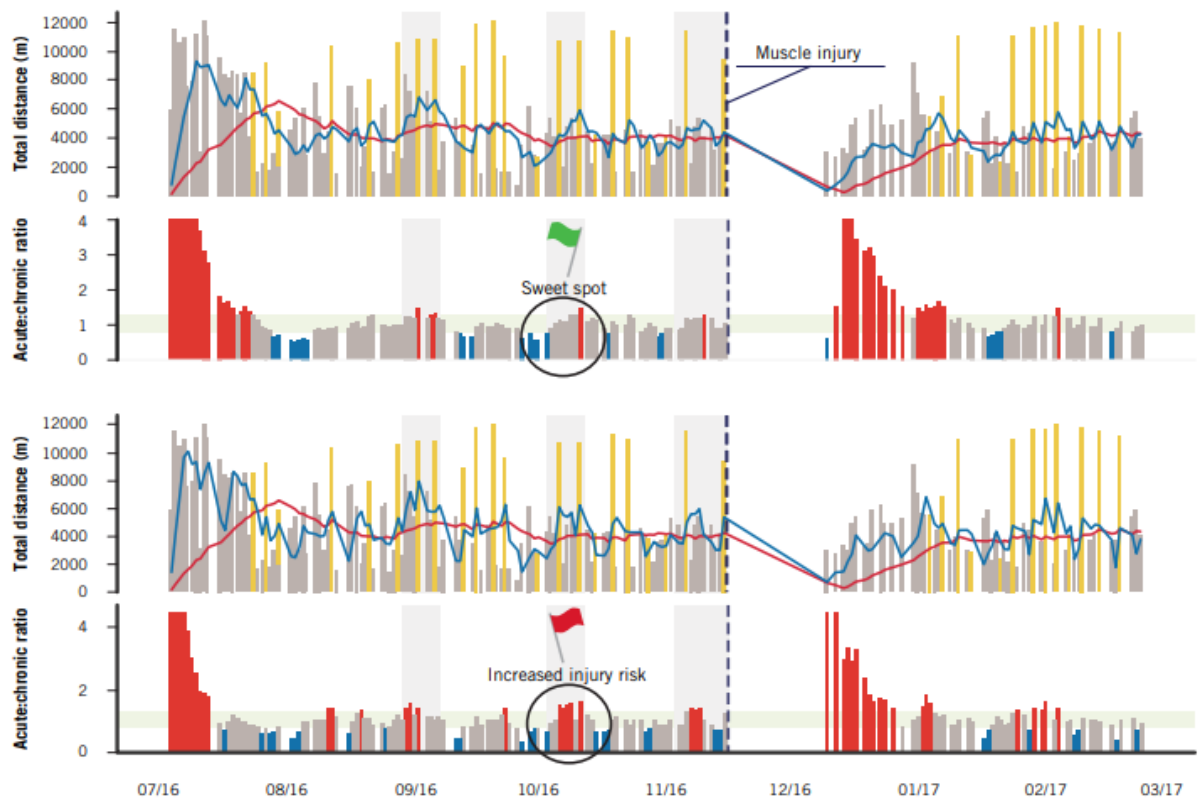
Figura 20: Comparación entre dos atletas ante la probabilidad de sufrir lesión



Fuente: Weiss et al., 2017, p. 20.

Es decir, la ratio de carga aguda-crónica también es individual, pero ¿importan las ratios que escojamos? ¿Da igual escoger como carga aguda cuatro días o una semana y como crónico tres semanas o cinco semanas? La publicación de Lacome, Simpson y Buchheit (2018) muestra cómo la carga aguda de cuatro días y la carga crónica de dieciocho días eran más sensibles para prever un mayor riesgo de lesión que la ratio de siete días para la carga aguda y veintiocho para la crónica. Por lo tanto, podríamos utilizar esta herramienta también como estrategia para prevenir lesiones.

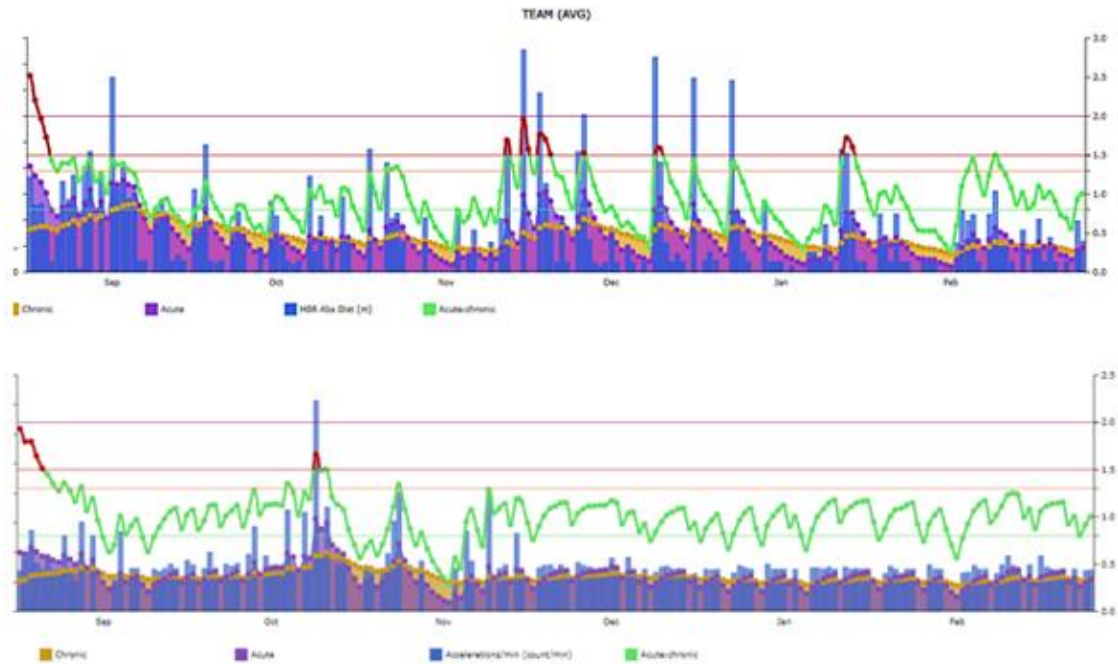
Figura 21: Cambios en la distancia total (en metros) para un futbolista de élite durante un período de siete meses



Fuente: Fuente: Lacombe et al., 2018, p. 55.

La figura 22 muestra datos pertenecientes a nuestro equipo. En ella, aparece la ratio de carga aguda establecido en siete días y crónica (veintiocho días) para las variables de distancia >18 km/h recorrida y para el número de aceleraciones durante varios meses de la temporada.

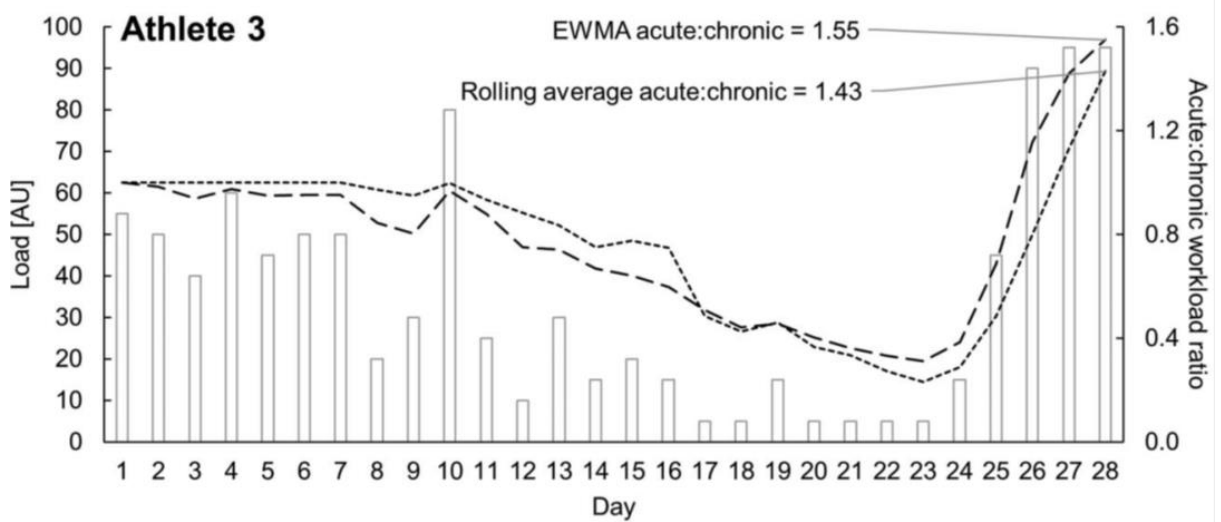
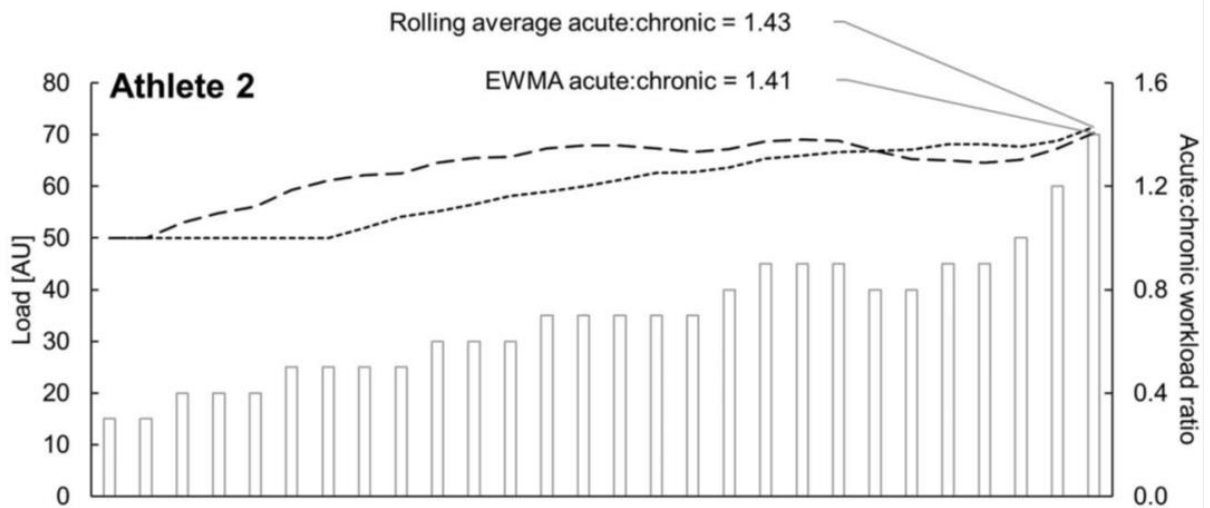
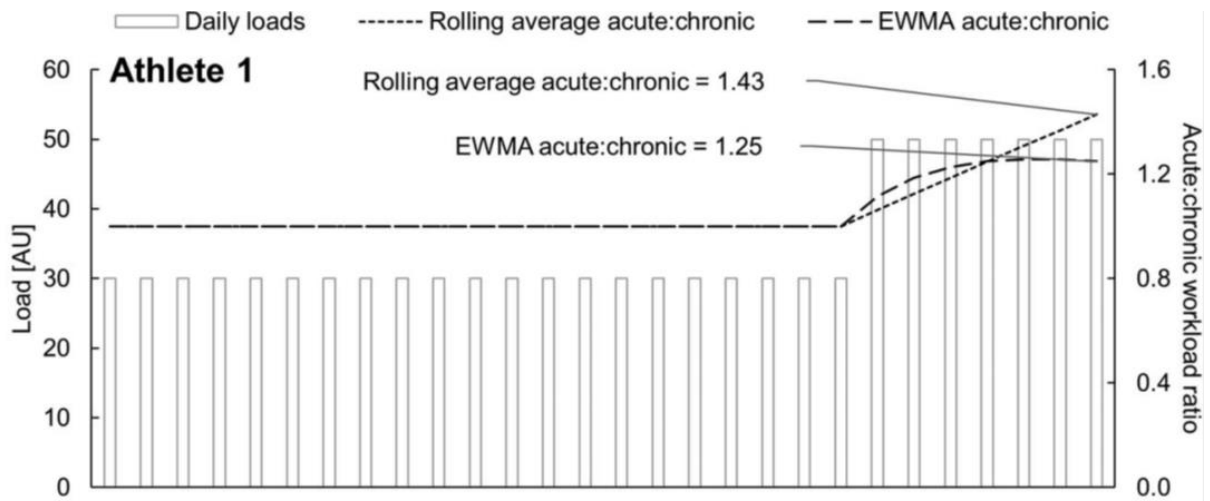
Figura 22: Control de la carga y ratio de carga aguda-crónica del primer equipo de baloncesto del FC Barcelona



Fuente: Elaborado por el autor utilizando dispositivos WIMU, Realtrack Systems S.L.

Otro aspecto a tener en cuenta en relación a esta ratio es el cálculo utilizado para su obtención: los rolling average o medias móviles. Pero esta no es la única forma para calcular la ratio, sino que también puede ser calculada, a diferencia de los datos presentados anteriormente, a partir de un análisis exponencial de medias móviles. Este proceso permite otorgar un mayor peso ponderado a los datos más recientes, es decir, a los entrenamientos más cercanos en el tiempo. La siguiente figura muestra la evolución de la ratio en tres atletas comparando el análisis de media simples (rolling average) y el de medias móviles exponenciales (EWMA).

Figura 23: Diferentes valores de relación de carga de trabajo aguda-crónica producidos utilizando medias móviles ponderadas exponencialmente y los métodos de medias móviles



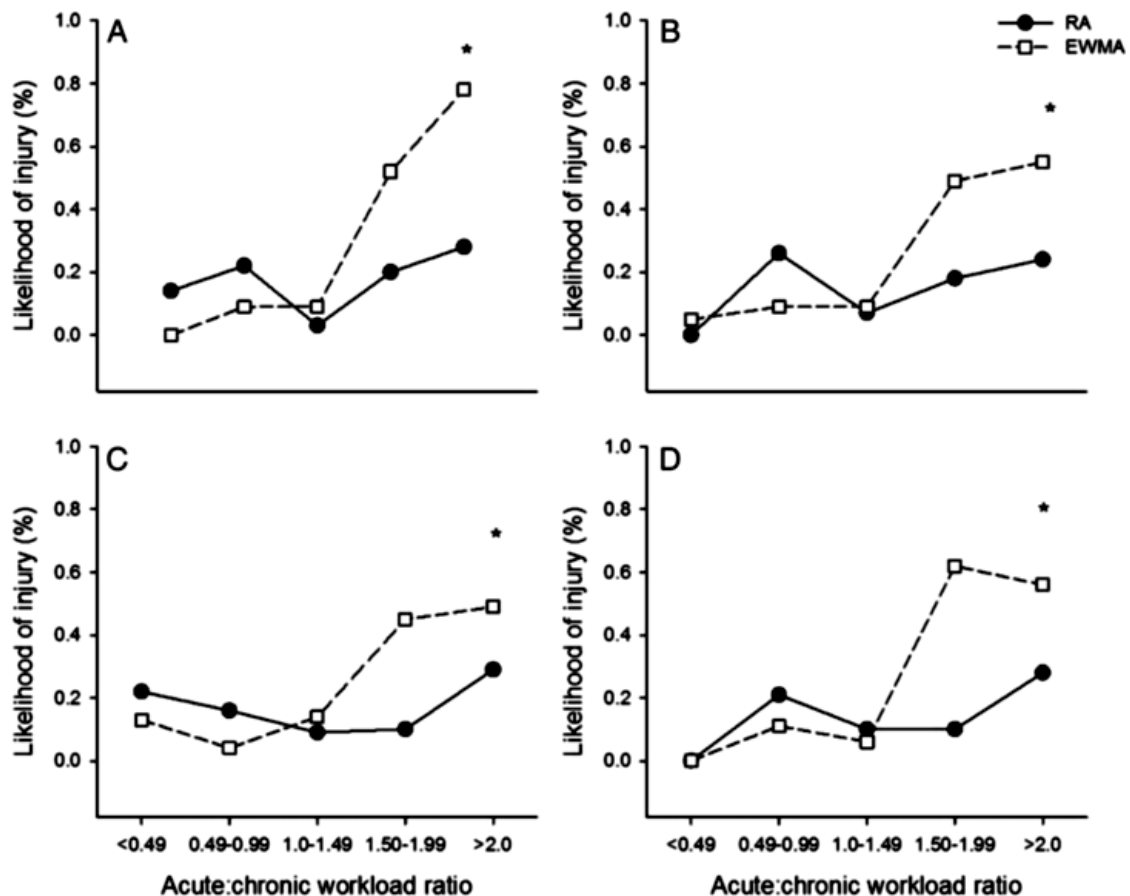
Fuente: Williams, 2017, p. 210.



La figura 23 muestra la diferencia entre los dos análisis alcanzando valores de 1,25 y 1,43 en el caso del atleta 1. En el atleta 2 los datos son 1,41 y 1,43. Y, por último, la dinámica de cargas del atleta 3 en la que se observa una gran fluctuación entre los últimos datos y los anteriores analizados: el análisis exponencial genera una ratio de 1,55, superior al encontrado anteriormente. Así, podríamos establecer que el análisis de medias móviles exponenciales es más sensible especialmente en las ratios altas.

La publicación de Murray, Gabbett, Townshend y Blanch (2016) calculó la ratio para la distancia total recorrida, la moderada ya alta y el player load. El estudio arrojó diferencias significativas entre los dos métodos en las cuatro variables cuando la ratio era alta (figura 24). Estos datos correspondían a la pretemporada y el mismo comportamiento ocurría en la fase de temporada.

Figura 24: Probabilidad de lesión en cada rango de ACWR durante el período de pretemporada para el día actual en distancia total, distancia a velocidad moderada, distancia a velocidad alta y player load



Fuente: Murray et al., 2016, p. 4.

Un tercer método es el método acoplado y no acoplado. El análisis acoplado significa que para un ejemplo de cuatro semanas el cálculo agudo-crónico incluye como carga crónica las cuatro semanas y, como

aguda, la última semana. Sin embargo, el método no acoplado toma como carga crónica las tres primeras semanas y, como aguda, la última semana. Es decir, elimina la última semana de la carga crónica analizada.

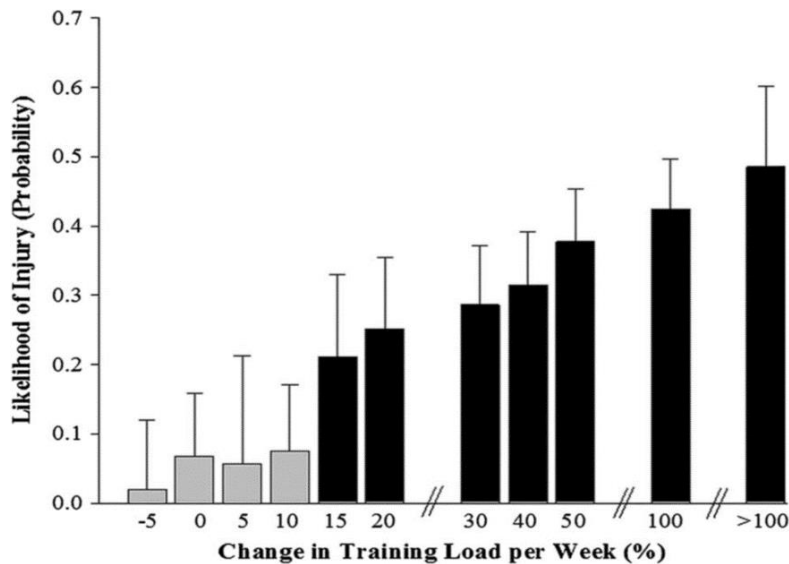
En general, podemos establecer que los picos agudos en la carga de trabajo para múltiples variables deben ser evitados ya que están asociados con un aumento del riesgo de lesión. El modelo de medias móviles está basado en evidencia científica y respaldada por la literatura para cuantificar la probabilidad del riesgo de lesión. Con todo, el modelo de medias móviles ponderados exponencialmente tiene una mayor sensibilidad para detectar aumentos en el riesgo de lesiones en mayores rangos de las ratios agudas-crónicas.

Sin embargo, se debe proporcionar más evidencia sobre los diferentes métodos de carga aguda-crónica y el cálculo del riesgo de lesiones. Esto permitirá a los profesionales involucrados en la preparación física de jugadores de elite prescribir sistemáticamente y con mayor eficacia las cargas de entrenamiento para mejorar las cualidades físicas necesarias en la competición mientras se minimiza el riesgo de sufrir lesiones relacionadas con la carga.

Estas publicaciones, en general, señalan que unas cargas crónicas elevadas permiten al atleta una mejor preparación y predisposición para soportar algunos de los picos de entrenamiento agudo gracias, en parte, a un acondicionamiento físico adecuado que permita soportar mejor los requerimientos de la competición. Por lo tanto, un buen nivel de acondicionamiento físico puede contribuir a digerir mejor las cargas y, por tanto, a reducir la probabilidad de sufrir lesiones.

El porcentaje de cambio de la carga entre las diferentes semanas también tiene que ser analizado. Por ejemplo, si se produce un determinado porcentaje de incremento respecto a la semana anterior, la probabilidad de sufrir lesión también aumenta (figura 25).

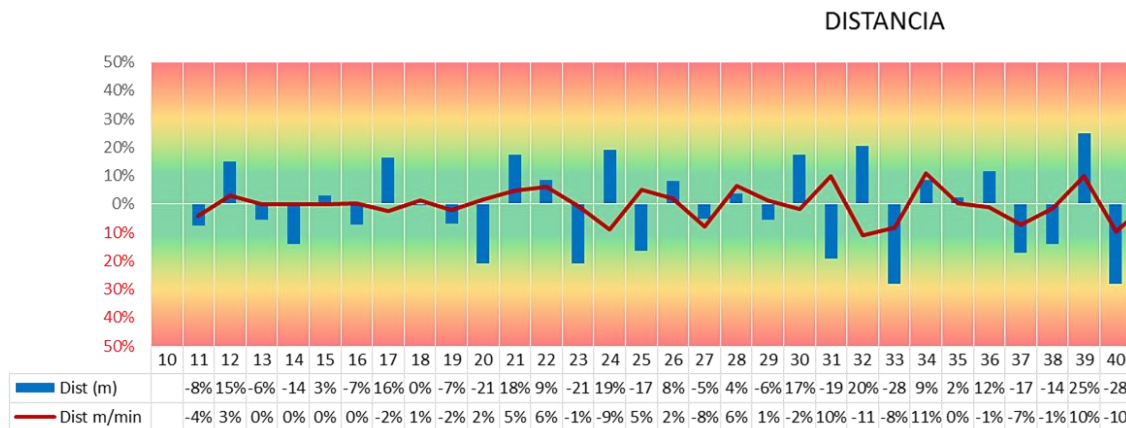
Figura 25: Probabilidad de sufrir lesión con diferentes cambios en la carga de entrenamiento



Fuente: Gabbett, 2016, p. 5.

La figura 26 muestra el porcentaje de la distancia recorrida en nuestro equipo.

Figura 26: Evolución del porcentaje de cambio entre semanas de la distancia en el F.C. Barcelona



Fuente: Elaboración propia.

Otro de los aspectos a tener en cuenta para minimizar el riesgo de lesión es el control de la distancia de alta intensidad a la que se ven sometidos nuestros jugadores. Vamos a prestar atención a lo que la publicación de Williams, Trewartha, Cross, Kemp y Stokes (2017) muestra. Los autores buscaban establecer las variables más importantes a la hora de analizar la carga. Para ello, realizaron un análisis de los componentes principales de diez variables en cuatro equipos. Así, establecieron que había tres componentes principales que explicaban el 57% de la varianza como aguda, el 24% la carga crónica y el 9% de cambio entre microciclos. A partir de este análisis, concluyeron que la carga aguda venía fundamentalmente representada por la carga soportada en un día.



Otro aspecto muy importante a destacar es la fatiga. Diferentes publicaciones han comparado diferentes demandas físicas entre la primera parte y la segunda parte en fútbol y entre los distintos cuartos en baloncesto. Linke, Link, Weber y Lames (2018) mostraban que los futbolistas recorrían 99 metros por minuto en el primer tiempo versus 78 metros por minuto en el segundo tiempo. Esto suponía una reducción del 21% entre la primera y la segunda parte. Pero si controlamos y normalizamos las pausas, la diferencia se reduce a tan solo un 6,6%. Por tanto, debemos cuestionar, o cuanto menos reflexionar, si la fatiga es la causante de esa ligera disminución de la distancia recorrida o si los factores contextuales pueden influir en ese resultado.

Finalmente, hay que tener en cuenta que el machine learning puede ayudar a una mejor comprensión para afrontar la prevención de lesiones en mejores condiciones. Por otro lado, no debemos olvidar las respuestas internas del jugador ante la carga externa (frecuencia cardíaca y variabilidad de la frecuencia cardíaca, por ejemplo). Será importante, además, hacer un abordaje desde los sistemas dinámicos complejos para una mejor comprensión de las estrategias en el ámbito de la prevención de lesiones.

Toda esta información debe ser tenida en cuenta para disminuir el riesgo de sufrir una lesión en los deportes de equipo.



Referencias

- Bahr, R. & Krosshaug, T.** (2005). Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine*, 39(6), 324-329. doi: <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.018341>
- Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., Bush, M. & Bradley, P. S.** (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *International Journal of Sports Medicine*, 35(13), 1095-1100. doi: <https://doi.org/10.1055/s-0034-1375695>
- British Broadcasting Corporation** (2018). Premier League clubs paid £217m in wages to injured players in 2017-18. Recuperado de <https://www.bbc.com/sport/football/45045561>
- Colby, M. J., Dawson, B., Heasman, J., Rogalski, B. & Gabbett, T. J.** (2014). Accelerometer and GPS-Derived Running Loads and Injury Risk in Elite Australian Footballers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(8), 2244-2252. doi: [doi:10.1519/jsc.0000000000000362](https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000362)
- Coles, P. A.** (2017). An injury prevention pyramid for elite sports teams. *British Journal of Sports Medicine*, 52(15), 1008-1010. doi: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096697>
- Edwards, W. B.** (2018). Modeling overuse injuries in sport as a mechanical fatigue phenomenon. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 46(4), 224-231.
- Ekstrand, J., Walden, M. & Hagglund, M.** (2016). Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 50(12), 731-737. doi: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095359>
- Gabbett, T. J. & Ullah, S.** (2012). Relationship Between Running Loads and Soft-Tissue Injury in Elite Team Sport Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 953-960. doi: [10.1519/jsc.0b013e3182302023](https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3182302023)
- Gabbett, T. J.** (2016). The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*. doi: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>
- Gabbett, T. J.** (2018). Debunking the myths about training load, injury and performance: empirical evidence, hot topics and



recommendations for practitioners. *British Journal of Sports Medicine*. doi: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099784>

Hisham, T., Thomas, V., Geoff, F., Camden, H., Juan, H., Aparna, K. & Shawn, S. (2016). Preventing in-game injuries for NBA players. Paper presentado en la Sports Analytics Conference. Paper ID: 1590.

Lacome, M., Simpson, B. & Buchheit, M. (2018a). Monitoring training status with player-tracking technology. Still on the road to Rome. Part 1: Traditional practices and new concepts. *ASPETAR: Sports Medicine Journal*, 7, 55-63. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/327142176_2018_Monitoring_training_status_with_player-tracking_technology_Still_on_the_road_to_Rome_Part_1

Lacome, M., Simpson, B. & Buchheit, M. (2018b). Monitoring training status with player-tracking technology. Still on the road to Rome. Part 2: Increasing coach "buy-in" with good data visualization. *ASPETAR: Sports Medicine Journal*, 7, 64-66. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/327142262_Monitoring_training_status_with_player-tracking_technology_Still_on_the_road_to_Rome_Part_2

Linke, D., Link, D., Weber, H. & Lames, M. (2018). Decline in Match Running Performance in Football is affected by an Increase in Game Interruptions. *Journal of Sports Science & Medicine*, 17(4), 662-667. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/329247433_Decline_in_Match_Running_Performance_in_Football_is_affected_by_an_Increase_in_Game_Interruptions

Loren, Z. F. Chiu, L. & Bradford, J. (2003). The Fitness-Fatigue Model Revisited: Implications for Planning Short- and Long-Term Training. *Strength & Conditioning Journal*, 25, 42-51. doi: [https://doi.org/10.1519/1533-4295\(2003\)025<0042:TFMRIF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4295(2003)025<0042:TFMRIF>2.0.CO;2)

Meeuwisse, W. H. (1994). Assessing Causation in Sport Injury: A Multifactorial Model. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 4(3). Recuperado de https://journals.lww.com/cjsportsmed/Fulltext/1994/07000/Assessing_Causation_in_Sport_Injury__A.4.aspx

Meeuwisse, W. H., Tyreman, H., Hagel, B. & Emery, C. (2007). A dynamic model of etiology in sport injury: the recursive nature of risk and causation. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 17(3), 215-219. doi: <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3180592a48>



Moreno, J. (2015). NBA Total Losses To Injury Since The 2005-2006 Season. Recuperado de <http://www.move2thrive.com/kinein-blog/2015/5/9/hey-nbacant-you-get-your-athletes-bigger-chairs>

Murray, N. B., Gabbett, T. J., Townshend, A. D. & Blanch, P. (2016). Calculating acute: chronic workload ratios using exponentially weighted moving averages provides a more sensitive indicator of injury likelihood than rolling averages. *British Journal of Sports Medicine*, 51(9), 749-754. doi: 10.1136/bjsports-2016-097152

Nassis, G. P., Brito, J., Figueiredo, P. & Gabbett, T. J. (2019). Injury prevention training in football: let's bring it to the real world. *British Journal of Sports Medicine*, bjsports-2018-100262. doi: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100262>

Weiss, K. J., Allen, S. V, McGuigan, M. R. & Whatman, C. S. (2017). The Relationship Between Training Load and Injury in Men's Professional Basketball. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(9), 1238-1242. doi: <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0726>

Williams, S., West, S., Cross, M. J. & Stokes, K. A. (2017). Better way to determine the acute: chronic workload ratio? *British Journal of Sports Medicine*, 51(3), 209 LP - 210. doi: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096589>

Williams, S., Trewartha, G., Cross, M. J., Kemp, S. P. T. & Stokes, K. A. (2017). Monitoring What Matters: A Systematic Process for Selecting Training-Load Measures. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 2101-2106. doi: <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0337>

Windt, J. & Gabbett, T. J. (2016). How do training and competition workloads relate to injury? The workload-injury aetiology model. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 428-435. doi: 10.1136/bjsports-2016-096040

