

LA ERGONOMÍA, OTRO CAMPO DE APLICACIÓN DE LA BIOMECÁNICA*

Miquel Martínez,
Escola Catalana de l'Esport.
Xavier Aguado,
INEF de León.

* Trabajo realizado gracias a la colaboración de Eusebio Esparza, Mercè Martínez y Joan Riera.

Resumen

A partir de la definición de Biomecánica se pretende introducir al lector en otro de sus campos de aplicación, la Ergonomía.

La ergonomía se caracteriza por ser una tecnología multidisciplinaria que procura enfocar el problema del hombre y su trabajo desde una perspectiva global, aplicando también los conocimientos de la Biomecánica, denominada, en este caso, ocupacional.

De los estudios llevados a cabo en Biomecánica ocupacional se pueden sacar una serie de conclusiones que se enumeran en este trabajo.

A pesar de que las investigaciones ergonómicas se iniciaron con la finalidad de incrementar el rendimiento y evitar fatigas y lesiones en el trabajo

industrial, son cada vez más numerosos los estudios que inciden sobre el trabajo doméstico. Nosotros, intentando dar a la casa el valor que se merece desde una perspectiva ergonómica, hemos pretendido hacer una reflexión biomecánica en dos actividades (barrer y sentarse) que tienen lugar frecuentemente en nuestros hogares.

1. Introducción

De acuerdo con la definición más ampliamente aceptada, la Biomecánica estudia los sistemas biológicos aplicando los principios y métodos de la Mecánica (parte de la Física que estudia el movimiento y las fuerzas que lo determinan).

En el campo de la actividad física y el

deporte es habitualmente reconocida la importancia de la Biomecánica cuando se pretenden explicar altas cotas en el rendimiento deportivo. Los movimientos más eficaces de un deporte y para un determinado deportista tienen su explicación bajo la luz de la Biomecánica; y a su vez, analizando biomecánicamente al deportista en su deporte se puede llegar a lo que sería su técnica ideal de movimiento, no por imitación de otros de mayor *performance*, sino basándose en conocimientos biológicos y físicos.

No se le da tanta importancia a la Biomecánica cuando, estando aún en el campo de la actividad física y el deporte, no se relaciona directamente con el alto rendimiento deportivo. Sin embargo, y desde nuestro punto de

vista, la Biomecánica interesa al docente de la educación física y del deporte ya que le da una sólida base para comprender el movimiento humano a partir del análisis biomecánico de habilidades y destrezas básicas. Mucho menos conocidos son otros campos de aplicación biomecánica no relacionados directamente con el deporte y sus movimientos. No obstante, existen otras interesantes áreas relacionadas con el movimiento del cuerpo en donde los principios y métodos de la Mecánica son utilizados: Ortopedia, Rehabilitación, Control neuromuscular, *Ergonomía*, etc. (Roy y Lagassé, 1976).

Con la intención de acercar al lector a la Ergonomía y descifrar sus relaciones con la Biomecánica se ha escrito este trabajo.

2. La ergonomía

La Ergonomía, como estudio del hombre en el trabajo, nació en 1949 cuando se creó en Londres la primera sociedad ergonómica: Ergonomics Research Society.

Los albores de esta nueva disciplina surgieron cuando la mano de obra en el trabajo empezó a ser un recurso escaso. Hasta la Primera Guerra Mundial la capacidad de una persona para trabajar se consideraba agotable y la enfermedad o dolencia profesional era recompensada con el despido (Tichauer, 1976). En el mundo laboral, la máquina se construía independientemente de las características del operador que tenía que manejarla, siendo necesario seleccionar a los más aptos y someterlos a un período de formación. Para algunos la Ergonomía empieza realmente con la Segunda Guerra Mundial cuando un grupo multidisciplinario de expertos, contratados por el gobierno británico, estudian diversos temas sobre la adaptación de la máquina al hombre (Hammond, 1978). Desde esta época se han realizado numerosas medidas antropométricas, fisiológicas y psicológicas que han permitido al diseñador adaptar las máquinas y herramientas al hombre medio.

Contemporáneamente nos encontramos en una nueva etapa de la Ergono-

mía, en donde no se pretende adaptar el hombre a la máquina ni la máquina al hombre, sino que se analiza el sistema globalmente como un todo (Riera, 1982). A veces, en esta interacción prevalecerá el hombre a la máquina y se adaptará ésta a las necesidades del operador; en otras ocasiones, resultará más rentable enseñar al hombre a sacarle rendimiento a la máquina, evitando cualquier posible fatiga o lesión. Los estudios que tratan de perfeccionar el trabajo han de centrarse en el sistema hombre-máquina, es decir, respetar tanto las características del hombre como las de las máquinas, intentando adaptarlas entre sí ateniéndose al criterio de aumentar al máximo los resultados globales del sistema (Montmollin, 1970).

En la actualidad, la Ergonomía se caracteriza por ser una tecnología necesariamente multidisciplinaria que procura enfocar el problema del hombre y su trabajo desde una perspectiva global, aplicando los conocimientos que se derivan de las ciencias básicas: Física, Biología, Psicología y Sociología.

3. La biomecánica ocupacional

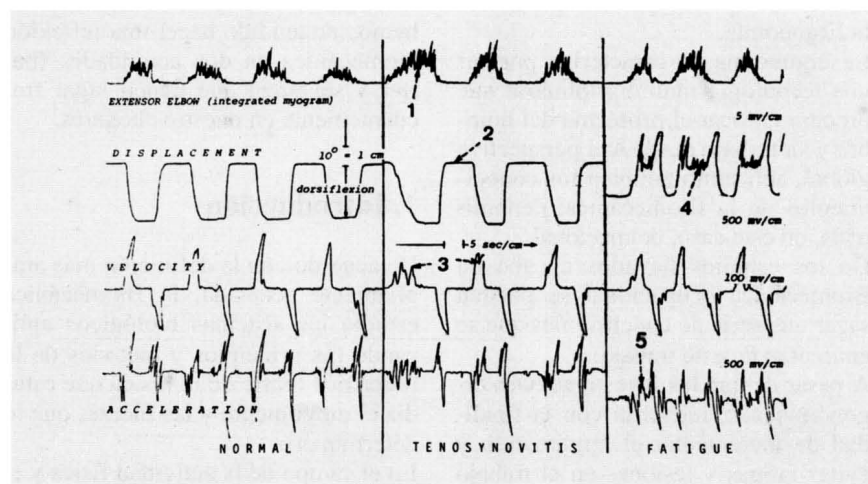
Cuando las ciencias de la Física y la Biología se interrelacionan surge la Biomecánica, y ésta como tal también puede contribuir al conocimiento ergo-

nómico. En los congresos internacionales de Biomecánica hay una sección denominada Occupational Biomechanics (Biomecánica Ocupacional) que trata la parte de la Ergonomía relacionada con la Biomecánica.

En un principio, fue poca la influencia de la Biomecánica en el terreno laboral. Otras disciplinas como la Fisiología y la Psicología tuvieron mucho mayor peso en los estudios ergonómicos y esto fue debido primordialmente a la falta de metodología en Biomecánica. El desarrollo de la Biomecánica experimental y la aparición de nuevo instrumental de investigación favorecieron el estudio biomecánico del hombre en el trabajo. Desde entonces, la Biomecánica ocupacional tiene mucho que decir en el estudio de la fatiga, el bajo rendimiento y la lesión del trabajador. Si los movimientos requeridos por el medio externo (herramientas, máquinas, útiles...) no son compatibles con los movimientos posibles en el medio interno biológico, surge en principio la fatiga, después el bajo rendimiento y por último la lesión.

Pioneros de la Biomecánica ocupacional, entre otros, fueron Lunder-vold (1951), quien hizo un estudio electromiográfico sobre la postura y la forma de trabajar de las mecanógrafas (éste fue, quizás, el primer análisis biomecánico en una situación habitual de trabajo), y Basmajian (1962), quien escribió el primer trata-

Figura 1. PERFIL BIOMECÁNICO DE UN MOVIMIENTO LABORAL DE EXTENSIÓN DE LA MUÑECA EN TRES SITUACIONES: NORMAL, TENOSINOVITIS Y FATIGA (DE TICHAUER, 1974).



do de electromiografía aplicado al estudio del movimiento humano.

El protocolo de investigación biomecánica en Ergonomía incluye, habitualmente, el registro de desplazamientos, velocidades y aceleraciones de determinados puntos anatómicos, así como los desplazamientos angulares, velocidades y aceleraciones de segmentos corporales respecto a otros. Estos registros, conseguidos generalmente por electrogoniómetros, se obtienen simultáneamente a los registros electromiográficos de los músculos que interesen. El trazo poligráfico resultante es lo que algunos autores denominan perfil biomecánico (Figura 1).

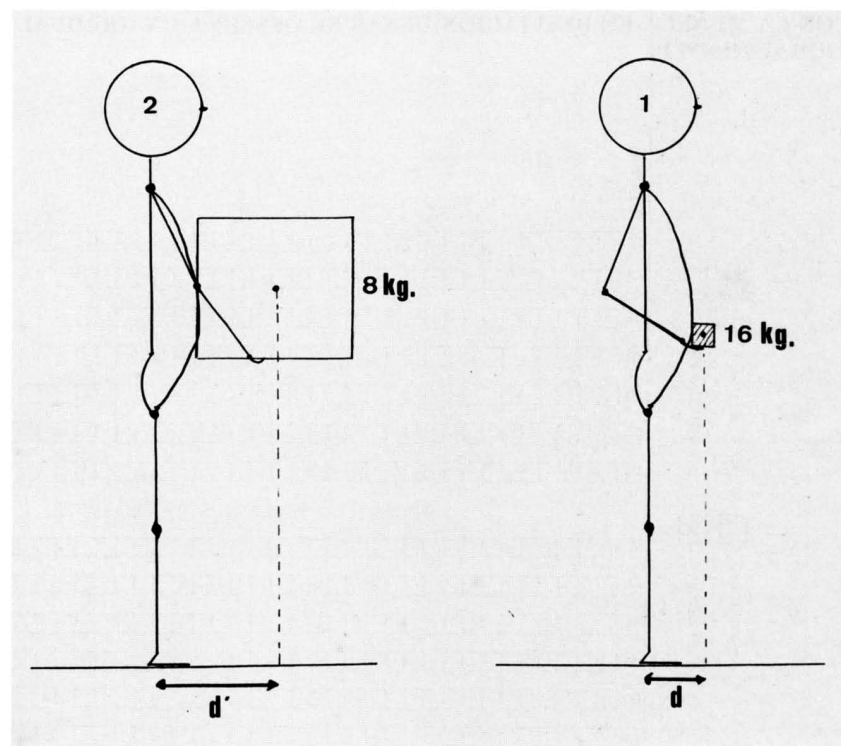
4. Investigaciones en biomecánica ocupacional

Son pocos los trabajos en lengua catalana o castellana sobre Biomecánica ocupacional. La mayoría de las investigaciones se han realizado en países, como los nórdicos y Estados Unidos, con una elevada renta per cápita y en donde la calidad de vida es un tema de interés.

Después de que numerosos estudios biomecánicos analizaran los elementos que componen los movimientos básicos en cualquier tarea industrial, se está en condiciones de sacar unas conclusiones aplicables a la mayoría de situaciones laborales. No todas las conclusiones son aplicables a todas las situaciones, pero, sin embargo, estos prerrequisitos no pueden ser violados sin producir baja productividad, ausencia de bienestar e, incluso, una lesión profesional (Tichauer, 1973). Las principales conclusiones sacadas de estos estudios son:

1. Minimizar los momentos de fuerza actuantes sobre la columna. El estrés sobre la musculatura de la espalda depende tanto del peso sujetado como de su distancia al eje de giro. Una caja de 60 x 60 de 8 kg de peso es funcionalmente tan pesada como un lingote de metal de 16 kg pegado al cuerpo (Figura 2).
2. Minimizar los momentos de fuerza actuantes sobre la articulación escápulo-humeral. Por ejemplo, cuando se está sentado en una silla y se tiene que manipular algo si-

Figura 2. LAS COLUMNAS VERTEBRALES DE LOS SUJETOS 1 Y 2 SOPORTAN LA MISMA CARGA AUN SOSTENIENDO PESOS DIFERENTES.



tuado arriba o lejos se obliga al deltoides a actuar continuamente produciéndose fatiga.

3. Evitar inclinar el tronco hacia delante o lateralmente para que el peso del cuerpo y la cabeza no contribuya a aumentar la tensión sobre los músculos de la espalda.
4. Evitar comprimir los tejidos blandos para no comprometer la irrigación en las respectivas regiones corporales. Sentarse en sillas altas sin apoyo de pies provoca una compresión de los muslos y la consiguiente perturbación de la irrigación sanguínea.
5. Evitar vibraciones a frecuencias críticas que producen reacciones en el organismo como visión borrosa, dolor de espalda y disfunción respiratoria.
6. Cuidar el diseño de las sillas de trabajo para evitar magulladuras y dolores en áreas de la espalda. Se ha comprobado que la diferencia entre una silla bien o mal diseñada según criterios anatómicos y miográficos es, aproximadamente, de

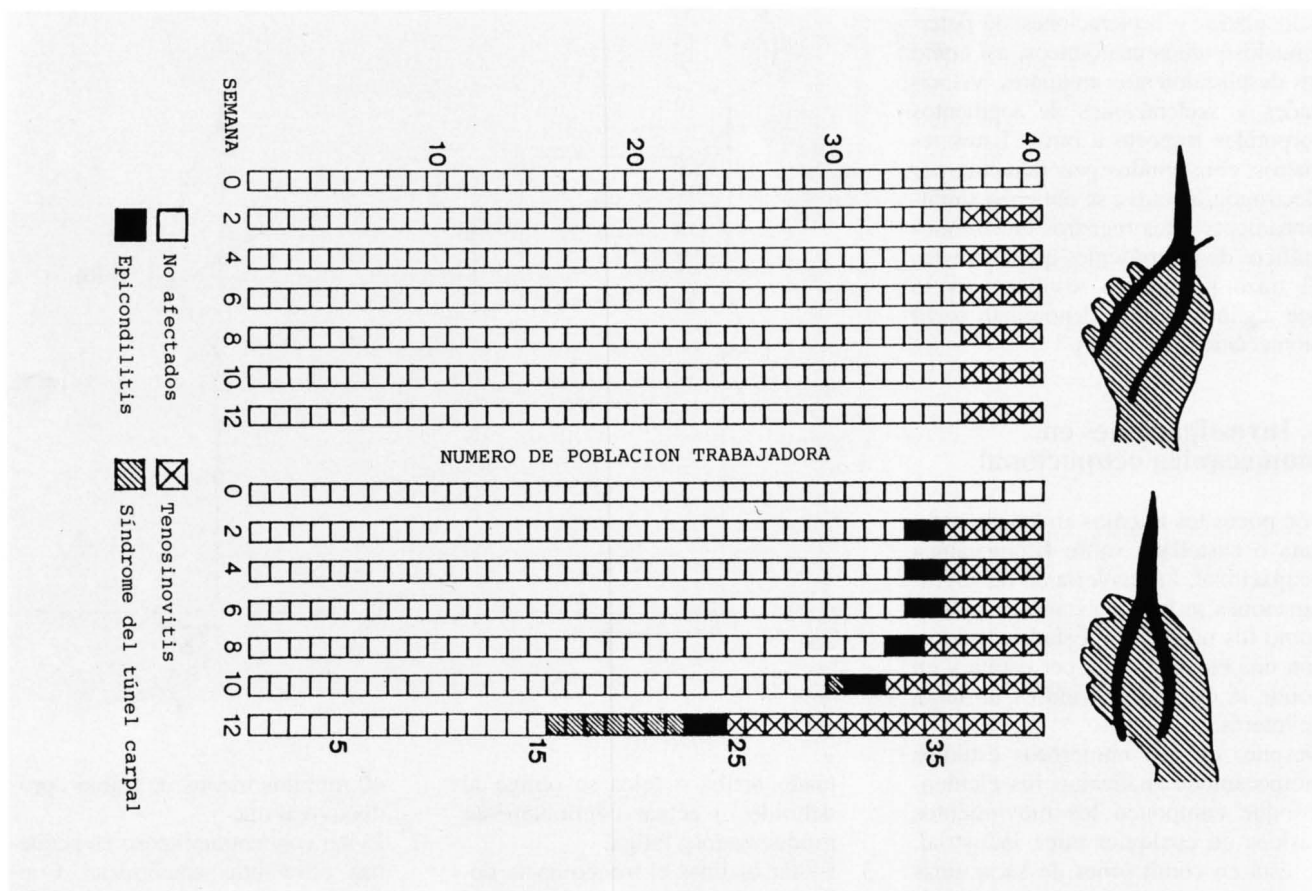
40 minutos menos de trabajo productivo al día.

7. Evitar concentrar el peso en pequeñas estructuras anatómicas. Conforme se disminuye la superficie, la presión aumenta favoreciendo la producción de microtraumatismos.
8. Evitar la aducción de muñeca junto con la supinación del antebrazo (desviación ulnar). Esto reduce espectacularmente las lesiones de muñeca cuando se utilizan alicates y destornilladores (Figura 3).

5. Aplicaciones cotidianas de la biomecánica ocupacional

A pesar de que las investigaciones ergonómicas se iniciaron con la finalidad de incrementar el rendimiento y evitar fatigas y lesiones en el trabajo industrial, son cada vez más numerosos los estudios que inciden sobre el trabajo doméstico o sobre multitud de actividades cotidianas que no tienen nada o poco que ver con el trabajo, como conducir un coche o descansar

Figura 3. ES MEJOR DOBLAR LOS ALICATES QUE NO DOBLAR LA MUÑECA. COMPARACIÓN DE GRUPOS DE ENTRENADOS EN MONTAJES ELECTRÓNICOS: CON LOS ALICATES DOBLADOS (MUÑECA RECTA) LA POBLACIÓN TRABAJADORA LESIONADA SE ESTABILIZA DURANTE LA SEGUNDA SEMANA DE ENTRENAMIENTO; CON LA MUÑECA EN DESVIACIÓN ULNAR SE OBSERVA UN GRADUAL INCREMENTO DE LAS LESIONES (DE TICHAUER, 1973).



adecuadamente en una butaca. La relación entre el hombre y la máquina no debería ajustarse exclusivamente al ámbito industrial, y tendría que abarcar todas las situaciones en las que el hombre interactúa con algún instrumento o con otros hombres (Riera, 1982). Deberían constituir tema ergonómico tanto el conocimiento del hombre en el trabajo como en el ocio (Shackel, 1980), incluyendo por tanto las relaciones que tenemos con teléfonos, raquetas de tenis, máquinas de escribir, libros de texto, etc.

Cada vez es mayor el tiempo de ocio y por tanto son mayores las posibilidades de relacionarnos con utensilios y máquinas fuera del trabajo. Entre otros ambientes, la casa se ve más frecuentada, ya sea porque la jornada de trabajo se reduce o porque nuestras

casas son cada día más acogedoras y con mayores posibilidades de ocio (lectura, televisión, ordenador, bricolaje, etc.). Además, en la casa se realizan una serie de trabajos físicos relacionados con una serie de utensilios como son los fregaderos, escobas, escaleras, etc. Nosotros, intentando dar a la casa el valor que se merece desde una perspectiva ergonómica, hemos pretendido realizar una reflexión biomecánica sobre dos actividades, barrer y sentarse, que tienen lugar frecuentemente en nuestras casas.

5.1. Biomecánica del barrer

Es frecuente encontrar personas que se quejan de molestias en la espalda cuando realizan tareas domésticas como barrer, y son primordialmente los más altos los que tienen mayores problemas.

Una persona con un palo de escoba adaptado a su estatura puede barrer con la columna recta y al mismo tiempo tener una buena distancia de alcance con la escoba (Figura 4.2). En cambio, la persona alta que no encuentra en el mercado una escoba adaptada a su estatura tiene que elegir entre disminuir la distancia de alcance con la escoba (Figura 4.3) o flexionar el tronco hacia delante (Figura 4.4). Y como la persona alta no quiere gastar más tiempo barriendo que otros opta, generalmente, por inclinar el tronco hacia delante y así poder cumplir sus menesteres con celeridad. Como ya comentamos en el apartado 4.3, hay que evitar inclinar el tronco hacia delante puesto que contribuye a sobrecargar los músculos extensores de la columna. Estos músculos son precisos y poco potentes

Figura 4. LA PERSONA BAJA (2) ABARCA MÁS CON UNA ESCOBA DE ALTURA NO REGULABLE QUE LA PERSONA ALTA (3). CUANDO LA PERSONA ALTA QUIERE ABARCAR TANTO COMO LA BAJA (4) INCLINA LA COLUMNA.



ya que están diseñados para el ajuste dinámico de la actitud erecta, y cuando se les hace trabajar constantemente contra una fuerza superior para la que están diseñados se fatigan y sobrevienen las molestias y el dolor.

En consecuencia, se ha de evitar que los músculos extensores de la columna estén trabajando constantemente cuando se barre o se realicen otras tareas domésticas. Para ello, y si es necesario, hay que alargar el palo de la escoba (incrementando el mínimo peso posible), o alzar la altura del fregadero, por poner otro ejemplo de tarea doméstica con parecida casuística.

5.2. Biomecánica del sentarse

Nos podemos sentar tanto para descansar como para trabajar, y entre estos dos extremos también nos pode-

mos sentar para conversar, comer, pasar el rato, etc. En función de la razón por la que nos sentamos variará el tipo de silla utilizada. De esta manera, las sillas utilizadas para trabajar suelen ser rígidas permitiendo un fácil movimiento de las extremidades y un levantarse con facilidad, mientras que las utilizadas para descansar son blandas y se hunden fácilmente permitiendo relajar la musculatura. Es importante utilizar en cada momento la silla adecuada; si nos servimos de una silla blanda para trabajar nos encontraremos aprisionados, con poca libertad de movimientos, y de igual forma, si utilizamos una silla rígida para descansar no podremos descansar adecuadamente la musculatura.

En el "estar sentado" se aplican las mismas recomendaciones biomecánicas que

en el estar de pie con la diferencia de que el sistema de palancas que hemos de soportar es menor. Estando sentados nos apoyamos sobre las caderas y muslos manteniendo erecto el tronco y cabeza, siendo por tanto, una postura de menor coste energético que el estar de pie.

En relación a la acción de sentarse son básicamente tres los problemas que se nos pueden plantear: cómo sentarse, cómo estar sentado y cómo levantarse. En cuanto al sentarse y levantarse, el problema radica en bajar o elevar el centro de gravedad sin que el cuerpo golpee con el asiento o sin tener que inclinar excesivamente el tronco hacia delante. En el caso ideal, nuestra silla estará abierta por debajo permitiéndonos retrasar una pierna, y con la flexión de rodillas bajar controladamente nuestro cuerpo hasta que los glúteos

Figura 5. LAS SILLAS ABIERTAS POR ABAJO PERMITEN METER UN PIE ENTRE LAS PATAS, LOGRANDO ASÍ UNA BASE DE SUSTENTACIÓN MÁS AMPLIA HACIA ATRÁS QUE FACILITA DESCENDER CONTROLADAMENTE LA CADERA HASTA CONTACTAR CON LA SILLA. EL USO DE LOS APOYA-BRAZOS FACILITA TAMBIÉN LA ACCIÓN.



contacten con el asiento. Si el asiento tiene apoya-brazos se facilitará aún más la acción de sentarse o levantarse por la actuación de los miembros superiores (Figura 5).

En cuanto al estar sentados, las indicaciones variarán según el tipo de asiento y nuestra actividad. En sillones y sillas blandas es aconsejable utilizar cojines para apoyar las lordosis

lumbar y cervical. Las sillas rígidas habrían de tener ya incorporado en el diseño del respaldo la forma de la lordosis lumbar.

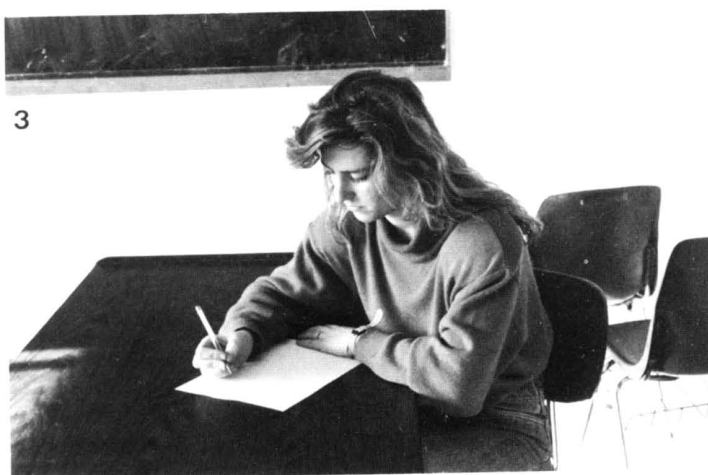
La altura de la silla ha de ser tal que, estando sentados correctamente, las piernas queden aproximadamente en ángulo recto. Si la silla es excesivamente alta las piernas quedarán colgadas, produciéndose una zona de presión debajo de los muslos que dificultará el retorno venoso. Si la silla es excesivamente baja las piernas quedarán flexionadas en exceso, e igualmente se dificultará el retorno venoso. Cuando estamos sentados delante de una mesa los codos nos deberían quedar aproximadamente en ángulo recto sobre ella, a no ser que estemos escribiendo a máquina o trabajando con ordenador, casos en los que la mesa habría de ser un poco más baja debido a la altura de los teclados.

La posición que adoptemos al sentarnos delante de una mesa debería permitir una visión equidistante de los dos ojos hacia el trabajo que realicemos. Si estamos escribiendo, con la hoja colocada oblicuamente para evitar la desviación ulnar de la muñeca, y al mismo tiempo queremos evitar la flexión de cuello que realizamos para mantener una visión equidistante de los dos ojos al papel, deberemos inclinar la silla hacia un lado pudiendo así mantener la cabeza recta (Figura 6).

6. A modo de conclusión

La Ergonomía, como disciplina multidisciplinaria que estudia la relación hombre-máquina, recibe una relevante contribución de la Biomecánica. La Biomecánica ocupacional se ha desarrollado primordialmente en países con una elevada renta per cápita y con una sensibilización por la calidad de vida. De los estudios llevados a cabo se pueden sacar unas conclusiones, aplicables tanto a los trabajos industriales como a las tareas cotidianas o de ocio. La relación del hombre con su vivienda se debería analizar desde una perspectiva ergonómica donde cuenten más las recomendaciones funcionales y biomecánicas que el diseño estético y de moda. El barrer y el sentarse han sido dos ejemplos ilustrativos del tema.

Figura 6. (1) EN ESTA POSICIÓN SE OBLIGA A LA MUÑECA A TRABAJAR EN DESVIACIÓN ULNAR. (2) PARA EVITAR LA DESVIACIÓN ULNAR SE COLOCA LA HOJA OBLICUAMENTE, PERO ELLO NOS OBLIGA A INCLINAR LA CABEZA PARA MANTENER UNA VISIÓN EQUIDISTANTE DE LOS DOS OJOS AL PAPEL. (3) SI NOS SENTAMOS OBLICUAMENTE A LA MESA EVITAREMOS LOS ANTERIORES PROBLEMAS, DESVIACIÓN ULNAR E INCLINACIÓN DE LA CABEZA.



BIBLIOGRAFÍA

- BASMAJIAN, J. B., *Muscles Alive: Their Functions Revealed by Electromyography*, Williams and Wilkins, Baltimore, 1962.
- BROER, M. y ZERNICKE, R., *Efficiency of Human Movement*, Saunders, Filadelfia, 1979.
- HAMMOND, J., *Understanding Human Engineering*, David and Charles Inc, North Pomfret, 1978.
- LUDERVOLD, A. J. S., *Electromyographic Investigations of Position and Manner of Working in Typewriting*, Broggers Boktrykkeri, Oslo, 1951.
- MARTÍNEZ, M. y ESPARZA, E., "Biomecánica, base científica de la técnica deportiva", en *Relevo. Revista deportiva de Castilla y León*, n. 2(5), 1985, pp. 32-33.
- MONTMOLLÍN, M., *Los sistemas hombres-máquinas (Introducción a la ergonomía)*, Aguilar, Madrid, 1970.
- RIERA, J., *Ergonomia de l'aprenentatge motor: un enfocament metodològic*, Tesis no publicada, Universitat Politècnica, Barcelona, 1982.
- ROY, B. y LAGASSÉ, P., "La Biomécanique: Un secteur aux intérêts multiples", *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, n. 1(2), 1976, pp. 147-150.
- SHACKEL, B., "Motors influencing the application of ergonomics in practice", *Ergonomics*, n. 23(8), 1980, pp. 817-820.
- TICHAUER, E. R., "Ergonomic aspects of biomechanics", en *The industrial environment, its evaluation and control*, National Institute of Occupational Safety and Health, Washington, 1973.
- TICHAUER, E. R., "The use of biomechanical profiles in rehabilitation", en Bostrom y otros (Eds.), *Rehabilitation after central nervous system trauma*, Nordiska Bokhandels Förlag, Estocolmo, 1974.
- TICHAUER, E. R., "Occupational biomechanics and the development of work tolerance", en P. V. Komi (Ed.) *Biomechanics V.*, University Park Press, Baltimore, 1976.
-