



UNIVERSIDAD DE MURCIA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

**Manejo de la Imagen Digital en Anatomía
Patológica. Análisis Comparativo de
Dispositivos de Entrada**

D. Eduardo Alcaraz Mateos

2018

Manejo de la imagen digital en Anatomía Patológica.
Análisis comparativo de dispositivos de entrada.

Tesis Doctoral presentada por:

Eduardo Alcaraz Mateos

Tutor Doctorado:

Dr. Ignacio Martínez González-Moro

Directores de tesis:

Dr. Ignacio Martínez González-Moro

y

Dr. Enrique Poblet Martínez

Murcia, 2018

AGRADECIMIENTOS

A mis directores, los Profesores Doctores D. Ignacio Martínez González-Moro y D. Enrique Poblet Martínez, por su apoyo y confianza, así como por la ayuda y por el tiempo que han destinado a este proyecto, incluyendo su revisión y sus consejos para que esta tesis haya podido ver la luz.

A los estudiantes que han participado activamente en este trabajo, por su ayuda desinteresada y su estupenda disposición: Francisco Cárceles, Mariano Albarracín, Rubén Hernández, Sergio Hernández, Laura Hernández, Ignacio Jiménez, Alberto López y Carmen Moreno... ¡Muchas gracias!

A Nicolás Sánchez Campoy, por su ayuda en el análisis de datos, sin el cual no habría podido obtener los resultados que aquí se presentan. ¡Gracias por tu tiempo!

A Estefanía Rojas por ayudarme con el diseño de la matriz parafinada que nos ha servido para someter a estudio a los distintos dispositivos de entrada y a Soraya Méndez, por su ayuda con los registros electromiográficos.

A Carlos Gabaldón y Anna Rubí por facilitarme la tecnología en patología digital. A Märzhäuser Sensotech, por cederme el dispositivo Ergopointer durante el tiempo necesario y a Amazon, por ser tan eficaz con el envío de los distintos dispositivos.

A los estudiantes de IFMSA: Alexandra Kundisova, Ahmed Abdelraheem e Iva Turic, por su estimulante presencia durante sus rotaciones por el Servicio de Anatomía Patológica en el Hospital Universitario Morales Meseguer.

A mis compañeros patólogos que colaboraron en algunas partes de este estudio y, en especial, a Miguel Pérez y Andrés Nieto, por ofrecerse como conejillos de indias en los distintos “experimentos” que hemos hecho, fundamentalmente en el control por voz y por reconocimiento facial.

Finalmente, quería dedicar este trabajo a mis padres, Antonio y Maribel, a mi hermano Antonio y..... como no, a Fuen, por ser mi gran apoyo.

¡Gracias a todos!



Tesis Doctoral. Manejo de la imagen digital en Anatomía Patológica.
Análisis comparativo de dispositivos de entrada.

RESUMEN

Introducción: La alta prevalencia de trastornos musculoesqueléticos entre patólogos y el cambio hacia la digitalización de la Anatomía Patológica, dejando a un lado el microscopio óptico convencional y pasando a utilizar el ordenador y otras tecnologías de información y comunicación, nos ha hecho plantearnos el estudio de distintos tipos de dispositivos de entrada que intervienen en la interacción humano computadora.

Objetivo principal: El objetivo fundamental de esta tesis doctoral ha sido el de mejorar el conocimiento, desde el punto de vista ergonómico, de la interacción humano-computadora con dispositivos de entrada en patología digital.

Material y métodos: Se ha realizado un estudio comparativo de 10 dispositivos de entrada por parte de 6 estudiantes y se han registrado las percepciones de carga mental a través del sistema NASA-TLX, los tiempos en la consecución de objetivos durante un ejercicio estandarizado, así como los registrados con una aplicación web del test de Fitts, los datos de desplazamiento y pulsación de botones y el registro electromiográfico de la musculatura involucrada en el movimiento de dichos dispositivos de entrada. Del mismo modo, se han recogido, a través de un cuestionario tipo Likert, grados de satisfacción en distintos aspectos por parte de los sujetos a estudio.

Resultados: Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la práctica totalidad de las variables estudiadas entre los distintos dispositivos de entrada y se pudieron establecer unos resultados mejores para el ratón convencional, seguido del ratón vertical, Rollermouse, lápiz óptico, *trackball* azul, *trackball* rojo, *trackball* negro, *touchpad*, Ergopointer y, finalmente, el dispositivo Leap Motion.

Conclusiones: Hemos validado un sistema para comparar dispositivos de entrada y hemos encontrado diferencias estadísticamente significativas, estableciendo un *ranking* de dispositivos atendiendo a los aspectos ergonómicos más relevantes.



SUMMARY

Introduction:

The high prevalence of musculoskeletal disorders among pathologists and the changing towards the digitization of Pathology, leaving aside the conventional optical microscope and moving to use computer and other information and communication technologies, has made us consider the study of different types of input devices which participate in the human computer interaction.

Main objective: The main goal of this doctoral thesis has been to improve the knowledge, from an ergonomic point of view, of the human-computer interaction when using input devices in digital pathology.

Material and methods: A comparative study of 10 input devices has been carried out by 6 students and these aspects have been assessed: the perceptions of mental workload through the NASA-TLX system, time-recorded task achievement during a standardized exercise as well as those recorded with a web-based Fitts test, displacement and button press data and the electromyographic registration of the muscles involved in the movement while using those input devices. In the same way, a Likert-like scale questionnaire has been used to assess degrees of satisfaction in different aspects.

Results: Statistically significant differences were found in practically all of the variables studied between the different input devices and better results could be established for the conventional mouse, followed by vertical mouse, Rollermouse, optical pen, blue trackball, red trackball, black trackball, touchpad, Ergopointer and, ending with Leap Motion.

Conclusion: We have validated a system to compare input devices and we have found statistically significant differences, establishing a ranking of devices according to the most relevant ergonomic aspects.

PUBLICACIONES Y COMUNICACIONES

PUBLICACIONES

- Alcaraz-Mateos E, Caballero-Alemán F. Problemas músculo-esqueléticos en patólogos españoles. Prevalencia y factores de riesgo. Rev Esp Patol. 2015;48:9-13.
- Alcaraz-Mateos E, Caballero-Alemán F, Albarracín-Ferrer M, Cárceles-Moreno F, Hernández-Gómez R, Hernández-Kakaurdze S, *et al.* Reserach on Devices for Handling Whole Slide Images on Pathology Workstations. An Ergonomic Outlook. Diagnostic Pathology 2016;2:232.
- Alcaraz-Mateos E, Caballero-Alemán F, Párraga-Ramírez MJ, Poblet E. Simulación médica en punción aspiración con aguja fina utilizando maniqués. Experiencia docente universitaria. Rev Esp Patol. 2016;49:139-43.
- Alcaraz-Mateos E, Tortosa-Martínez I, Alcolea-Guardiola C, Estévez-Ligero S, Abellán-Palazón A, Kundisova A. The Technicians' Role in Digital Pathology Implementation. Searching Optimization. Diagnostic Pathology 2016;2:231.
- Alcaraz-Mateos E , Turic I , Nieto-Olivares A , Pérez-Ramos M , Martínez González-Moro I , Poblet E. Head-Tracking as an Interface Device for Image Manipulation in Digital Pathology: A Comparative Study. Modern Pathology 2018;31:583.

COMUNICACIONES

- Alcaraz-Mateos E. Patología Digital: Perspectiva española actual. XXXVII Reunión Anual de la SEAP-IAP, Madrid 2014. Póster.
- Alcaraz-Mateos E *et al.* Patología Digital: Estudio comparativo de dispositivos para el manejo de la imagen. XXVII Congreso Nacional SEAP-IAP, Santander 2015. Póster.



- Alcaraz-Mateos E *et al.* Histología y Patología Digital. Implementación en los programas docentes. XXII Congreso de la Sociedad Española de Educación Médica, Murcia 2015. Póster.
- Alcaraz-Mateos E *et al.* Patología Digital: Manejo de preparaciones digitales mediante reconocimiento de voz. XXXIX Reunión Anual de la SEAP-IAP, Madrid 2016. Póster.
- Alcaraz-Mateos E *et al.* Input device research for digital pathology. An ergonomic Outlook. 13º Congreso Europeo de Patología Digital, Berlín, Alemania 2016. Comunicación oral.
- Alcaraz-Mateos E *et al.* Patrón electromiográfico diferencial en el estudio comparativo de dispositivos externos en patología digital. II Jornadas Doctorales de la Universidad de Murcia 2016. Póster.
- Alcaraz-Mateos E *et al.* NASA Task Load Index for Digital Cytology. Comparative Analysis of Input Devices. 19º Congreso Internacional de Citología, Yokohama, Japón 2016. Póster.
- Alcaraz-Mateos E *et al.* The role of the technicians in the digital pathology implementation. Searching optimization. XXXI Congreso Internacional de la Academia Internacional de Patología / 28º Congreso Europeo de patología, Colonia, Alemania 2016. Comunicación oral.
- Alcaraz-Mateos E. Patología Digital y Ergonomía. V Curso de Patología Digital, Oporto, Portugal 2016. Comunicación oral.
- Alcaraz-Mateos E *et al.* Head-Tracking as an Interface Device for Image Manipulation in Digital Pathology: A Comparative Study. 107º Congreso Anual de la Academia Estadounidense y Canadiense de Patología, Vancouver 2018. Póster.
- Alcaraz-Mateos E *et al.* Digital Pathology and Ergonomics. 30º Congreso Europeo de Patología, Bilbao 2018. Comunicación oral.
- Alcaraz-Mateos E. Patología Digital y Ergonomía. VII Curso de Patología Digital, Cádiz, 2018. Comunicación oral.

ÍNDICE

| | |
|---|-------------|
| AGRADECIMIENTOS | I |
| RESUMEN | III |
| PUBLICACIONES Y COMUNICACIONES | V |
| ÍNDICE | VII |
| ABREVIATURAS | XIV |
| FIGURAS | XVII |
| TABLAS | XXI |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Anatomía Patológica | 3 |
| 1.1.1. Definición de Anatomía Patológica | 3 |
| 1.1.1. Proceso diagnóstico microscópico | 4 |
| 1.2. Patología Digital | 5 |
| 1.2.1. Definición de Patología Digital | 5 |
| 1.2.2. Aplicaciones | 6 |
| 1.2.2.1. Docente | 6 |
| 1.2.2.2. Investigadora | 7 |
| 1.2.2.3. Asistencial | 9 |
| 1.2.3. Componentes | 12 |
| 1.2.3.1. Escáner | 12 |
| 1.2.3.2. Software de gestión y visualización de imagen | 13 |
| 1.3. Interacción Humano-Computadora | 15 |
| 1.3.1 El Ratón | 15 |
| 1.3.2. Otros dispositivos de entrada | 17 |
| 1.4. Trastornos musculoesqueléticos | 19 |



| | |
|--|-----------|
| 1.4.1. Consideraciones generales | 19 |
| 1.4.2. Trastornos musculoesqueléticos asociados a microscopía | 22 |
| 1.4.3. Trastornos musculoesqueléticos asociados al uso de ordenador | 25 |
| 1.5. Ley de Fitts | 29 |
| 1.5.1. Fundamento | 29 |
| 1.5.2. Aplicación | 31 |
| 1.6. Electromiografía | 32 |
| 1.6.1. Definición de electromiografía | 32 |
| 1.6.2. Aplicaciones de la electromiografía de superficie | 33 |
| 1.6.3. Metodología de la electromiografía de superficie | 34 |
| 1.6.3.1. Fase previa | 34 |
| 1.6.3.2. Fase de registro | 35 |
| 1.6.3.3. Fase de procesado | 36 |
| 1.6.4. Limitaciones de la electromiografía de superficie | 36 |
| 1.7. Método Nasa Task Load Index | 38 |
| 1.7.1. Fundamento | 38 |
| 1.7.2. Aplicación | 41 |
| 1.8. Estudios de Dispositivos de Entrada | 44 |
| 1.8.1. Estudios de Dispositivos de Entrada y Patología Digital | 44 |
| 1.8.2. Estudios de Dispositivos de Entrada aplicando la Ley de Fitts | 45 |
| 1.8.3. Estudios de Dispositivos de Entrada con el Método NASA-TLX | 46 |
| 1.8.4. Estudios de Dispositivos de Entrada con Electromiografía Superficial | 46 |
| 1.8.5. Otros estudios de Dispositivos de Entrada | 49 |
| 2. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS | 51 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1. Justificación e hipótesis | 53 |
| 2.2. Objetivos | 53 |
| 3. MATERIAL Y MÉTODOS | 55 |
| 3.1. Procedimiento general | 57 |
| 3.1.1. Valoraciones previas | 58 |
| 3.1.2. Electromiografía | 61 |
| 3.1.2.1. Colocación de electrodos | 61 |
| 3.1.2.2. Análisis electromiográfico de la actividad muscular en reposo | 63 |
| 3.1.2.3. Análisis electromiográfico de la contracción voluntaria máxima | 63 |
| 3.1.3. Anamnesis y exploración general | 63 |
| 3.2. Material | 65 |
| 3.2.1. Población | 65 |
| 3.2.2. Dispositivos de entrada | 65 |
| 3.2.2.1. Ratón convencional | 65 |
| 3.2.2.2. Ratón vertical | 66 |
| 3.2.2.3. <i>Trackball</i> (azul) | 67 |
| 3.2.2.4. <i>Trackball</i> (negro) | 68 |
| 3.2.2.5. <i>Touch Pad</i> | 68 |
| 3.2.2.6. Rollermouse | 69 |
| 3.2.2.7. <i>Trackball</i> (rojo) | 70 |
| 3.2.2.8. Ergopointer | 70 |
| 3.2.2.9. Lápiz Óptico | 71 |
| 3.2.2.10. Leap Motion | 72 |
| 3.2.3. Hardware adicional | 74 |



| | |
|--|-----------|
| 3.2.4. Software | 74 |
| 3.2.5. Acondicionamiento y mobiliario | 76 |
| 3.2.6. Electromiografía de superficie | 76 |
| 3.2.6.1. Electromiógrafo | 76 |
| 3.2.6.2. Electrodo | 77 |
| 3.2.6.3. Realización de la electromiografía | 78 |
| 3.3. Desarrollo del ejercicio | 78 |
| 3.4. Método estadístico | 80 |
| 4. RESULTADOS | 83 |
| 4.1. Población | 85 |
| 4.2. Valores antropométricos | 85 |
| 4.3. Cuestionario de valoración | 86 |
| 4.3.1. Comodidad | 87 |
| 4.3.1.1. Comodidad de agarre | 87 |
| 4.3.1.2. Comodidad postural | 88 |
| 4.3.1.3. Comodidad global | 89 |
| 4.3.2. Diseño | 90 |
| 4.3.3. Disposición de botones | 91 |
| 4.3.4. Tiempo de adaptación | 92 |
| 4.3.5. Versatilidad | 93 |
| 4.3.6. Precisión | 94 |
| 4.3.6.1. Movimiento del cursor | 94 |
| 4.3.6.2. Consecución de objetivos | 95 |
| 4.3.6.3. Valoración global de precisión | 96 |
| 4.3.7. Perspectiva de uso (fatiga) | 97 |

| | |
|---|------------|
| 4.3.8. Satisfacción general | 98 |
| 4.4. Aplicación web de la Ley de Fitts | 99 |
| 4.5. Cuestionario NASA-TLX | 100 |
| 4.6. Mousotron | 103 |
| 4.6.1. Tiempo de ejecución | 103 |
| 4.6.2. Pulsaciones | 104 |
| 4.6.3. Desplazamiento | 105 |
| 4.6.4. Movimientos con la rueda | 106 |
| 4.6.5. Mousotron físico | 107 |
| 4.7. Electromiografía | 108 |
| 4.7.1. Actividad eléctrica en reposo | 108 |
| 4.7.2. Contracción voluntaria máxima | 109 |
| 4.7.3. Actividad eléctrica durante el ejercicio | 110 |
| 4.7.3.1. Actividad eléctrica relativa durante el ejercicio | 111 |
| 4.7.4. Actividad eléctrica por grupos | 112 |
| 4.7.5. Músculo-específico por dispositivo | 113 |
| 4.8. Ranking global | 115 |
| 4.9. Correlaciones | 116 |
| 4.9.1. Correlación entre los tiempos | 116 |
| 4.9.2. Correlación entre la valoración de la precisión global y los tiempos | 117 |
| 4.9.3. Correlación entre el tiempo y la electromiografía | 117 |
| 4.9.4. Correlación entre el tiempo y carga mental NASA-TLX | 117 |
| 4.9.5. Correlación entre la satisfacción general y los tiempos | 118 |
| 4.9.6. Correlación entre posición que ocupa el dispositivo y el tiempo empleado en ejecutar el ejercicio | 119 |



| | |
|---|------------|
| 4.9.7. Correlación entre la valoración de la comodidad y los tiempos | 120 |
| 4.9.8. Correlación entre el registro electromiográfico y NASA-TLX | 120 |
| 4.9.9. Correlación entre el registro electromiográfico y la grasa subcutánea | 120 |
| 4.9.10. Correlación entre los valores electromiográficos por músculo | 121 |
| 4.9.11. Correlación entre los valores electromiográficos por dispositivo | 121 |
| 4.9.12. Correlación entre los valores de NASA-TLX por dimensión | 122 |
| 4.9.13. Correlación entre los registros de Mousotron y la carga mental NASA-TLX | 123 |
| 4.9.14. Correlación entre los registros de Mousotron y la valoración de la precisión | 123 |
| 4.9.15. Correlación entre el tiempo del ejercicio y los registros de Mousotron | 124 |
| 4.9.16. Correlación entre la carga mental y la valoración de la precisión | 124 |
| 4.9.17. Correlación entre carga mental y perspectivas de uso | 125 |
| 4.9.18. Correlación entre las valoraciones de precisión y comodidad | 126 |
| 4.9.19. Correlación entre satisfacción general y otras variables | 126 |
| 5. DISCUSIÓN | 127 |
| 5.1. Población | 130 |
| 5.2. Metodología | 131 |
| 5.2.1. Dispositivos | 131 |
| 5.2.2. Método NASA-TLX | 132 |
| 5.2.3. Test de Fitts | 133 |
| 5.2.4. Electromiografía superficial | 134 |
| 5.2.5. Cuestionario de valoración | 139 |
| 5.3. Ranking de dispositivos | 141 |

| | |
|--------------------------------------|------------|
| 5.4. Limitaciones del estudio | 143 |
| 6. CONCLUSIONES | 145 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA | 149 |
| ANEXOS | 175 |



ABREVIATURAS

| | |
|---------|--|
| 6DOF | <i>6 Degrees of freedom</i> |
| AN | Apertura numérica |
| AP | Aductor del pulgar |
| APS | <i>Active pixel sensor</i> |
| CANS | <i>Complaints of the arm, neck or shoulder</i> |
| CAP | <i>College of american pathologists</i> |
| CCD | <i>Charged coupled device</i> |
| CD | <i>Cluster de diferenciación</i> |
| CDC | Centro de control y prevención de enfermedades |
| CMOS | <i>Complementary metal-oxide-semiconductor</i> |
| CMRR | <i>Common-mode rejection</i> |
| CNN | <i>Convolutional neural network</i> |
| CPI | <i>Counts per inch</i> |
| CV | Coeficiente de variación |
| CVM | Contracción voluntaria máxima |
| dB | Decibelio |
| DICOM | Digital imaging and communication in medicine |
| DM | Deltoides medio |
| DPI | <i>Dots per inch</i> |
| DT | Desviación típica |
| EC | Estación convencional |
| ECD | Extensor común de los dedos |
| EE | Estación ergonómica |
| ELP | Extensor largo del pulgar |
| EM | Educación médica |
| EMG | Electromiografía |
| EMGS | Electromiografía de superficie |
| ENCT | Encuesta nacional de condiciones de trabajo |
| EPOMA | <i>European agency for safety and health at work</i> |
| EU-OSHA | <i>European agency for safety and health at work</i> |
| FCD | Flexor común de los dedos |

| | |
|------------|---|
| FDA | <i>Food and drug administration</i> |
| FFT | <i>Fast Fourier transform</i> |
| GB | <i>Gigabyte</i> |
| GOMS | <i>Goal operator method selection</i> |
| GUI | <i>Graphical user interface</i> |
| HE | Hematoxilina eosina |
| HER2 | <i>Human epidermal growth factor receptor 2</i> |
| HMB45 | <i>Human melanoma black 45</i> |
| HQ | Histoquímica |
| HR-SEMG | <i>High resolution surface electromyography</i> |
| Hz | Herzio |
| ID | Índice de dificultad |
| IHC | Interacción humano-computadora |
| IHQ | Inmunohistoquímica |
| IMC | Índice de masa corporal |
| INE | Instituto nacional de estadística |
| INSHT | Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo |
| IPO | Interacción persona-ordenador |
| ISO | <i>International organization for standarization</i> |
| JFIF | <i>Jpeg file interchange format</i> |
| JPEG | <i>Joint photographic experts group</i> |
| LED | <i>Light-emitting diode</i> |
| Mb | <i>Megabyte</i> |
| MD | Microscopía digital |
| MITF | <i>Microphthalmia-associated transcription factor</i> |
| MO | Microscopio óptico |
| Mp | <i>Megapixel</i> |
| MT | <i>Movement time</i> |
| MTA | <i>Manual tissue arrayer</i> |
| mV | Milivoltio |
| NASA-TLX | <i>National aeronautics & space administration task load index</i> |
| NUI | <i>Natural user interface</i> |
| OCU | Organización de consumidores y usuarios |
| PANOTRATSS | Patologías no traumáticas de la seguridad social causadas por el accidente de trabajo |



| | |
|--------|--|
| PAS | <i>Periodic acid-Schiff</i> |
| PD | Patología digital |
| Ppp | Pixel por pulgada |
| PV | Preparación virtual |
| PVD | Pantalla de visualización de datos |
| r | Coefficiente de correlación de Pearson |
| RAM | <i>Random Access memory</i> |
| RMS | <i>Root mean square</i> |
| ROI | <i>Region of interest</i> |
| SEAP | Sociedad española de anatomía patológica |
| SENIAM | <i>Surface electromyography for the non-invasive assessment of muscles</i> |
| SIH | Sistema de información hospitalaria |
| SIL | Sistema de información de laboratorio |
| SPSS | <i>Statistical package for the social sciences</i> |
| SWAT | <i>Subjective workload assessment technique</i> |
| TIC | Tecnologías de la información y comunicación |
| TIFF | <i>Tagged image format file</i> |
| TM | Trapezio medio |
| TME | Trastorno musculoesquelético |
| TP | <i>Throughput</i> |
| TS | Trapezio superior |
| UNE | Una norma española |
| USB | <i>Universal serial bus</i> |
| VMA | Valor medio absoluto |
| WSI | <i>Whole slide image</i> |

FIGURAS

Figura 1. Microscopio óptico.

Figura 2. Organización piramidal de la imagen en patología digital.

Figura 3. Fases del procesamiento de una imagen.

Figura 4. Ejemplo de *deep learning*.

Figura 5. Sistema de patología digital.

Figura 6. Ensamblaje de campos mediante *tiling* y *stritching*.

Figura 7. Prototipo del primer ratón por Engelbart y English.

Figura 8. Trastornos musculoesqueléticos por sexo y localización.

Figura 9. Microscopio convencional y ergonómico.

Figura 10. Modelo básico de la ley de Fitts.

Figura 11. Registro electromiográfico en estación de microscopía convencional frente a estación ergonómica.

Figura 12. Marco teórico de la carga mental.

Figura 13. Estudio electromiográfico según posicionamiento del ratón.

Figura 14. Posición de pronación con el ratón convencional frente a una posición neutra.

Figura 15. Esquema del ejercicio para el cálculo de la precisión, basado en la Ley de Fitts.

Figura 16. *Tissue Arrayer* para la elaboración de la matriz tisular.

Figura 17. Matriz tisular parafinada y sección resultante.

Figura 18. Sistema de escaneo.

Figura 19. Esquema del recorrido por los campos tisulares digitalizados.

Figura 20. Medición de perímetros.

Figura 21. Plicómetro.

Figura 22. Dinamómetro manual.

Figura 23. Ratón convencional.



Figura 24. Ratón vertical.

Figura 25. *Trackball* azul.

Figura 26. *Trackball* negro.

Figura 27. *Touchpad*.

Figura 28. Rollermouse.

Figura 29. *Trackball* rojo.

Figura 30. Ergopointer.

Figura 31. Lápiz óptico.

Figura 32. Leap Motion.

Figura 33. Posición y movimientos con Leap Motion.

Figura 34. Image Viewer. Preparación digital a mínimo aumento.

Figura 35. Image Viewer. Preparación digital a máximo aumento.

Figura 36. *Software Mousotron*.

Figura 37. Electromiógrafo de superficie DataLog MWX8 de Biometrics.

Figura 38. Electrodo activo y cinta adhesiva de doble cara.

Figura 39. Desarrollo del ejercicio I.

Figura 40. Desarrollo del ejercicio II.

Figura 41. *Ranking*: comodidad de agarre.

Figura 42. *Ranking*: comodidad postural.

Figura 43. *Ranking*: comodidad global.

Figura 44. *Ranking*: diseño.

Figura 45. *Ranking*: valoración de la disposición de botones.

Figura 46. *Ranking*: valoración del tiempo de adaptación.

Figura 47. *Ranking*: versatilidad.

Figura 48. *Ranking*: movimiento del cursor.

Figura 49. *Ranking*: consecución de objetivos.

Figura 50. *Ranking*: valoración de la precisión.

Figura 51. *Ranking*: perspectiva de uso.

Figura 52. *Ranking*: satisfacción general

Figura 53. *Ranking*: resultados del test de Fitts *online*.

Figura 54. *Ranking*: NASA-TLX.

Figura 55. NASA-TLX I. Valores medios de las dimensiones mental, física y temporal.

Figura 56. NASA-TLX II. Valores medios de las dimensiones esfuerzo, rendimiento y frustración.

Figura 57. *Ranking*: tiempo medio en ejecutar el ejercicio.

Figura 58. *Ranking*: pulsaciones (clic izquierdo).

Figura 59. *Ranking*: desplazamientos.

Figura 60. *Ranking*: rueda o *scroll*.

Figura 61. *Ranking*: Mousotron físico.

Figura 62. Actividad electromiográfica en reposo.

Figura 63. Actividad electromiográfica durante la prueba de contracción voluntaria máxima.

Figura 64. *Ranking*: actividad eléctrica absoluta durante el ejercicio.

Figura 65. Actividad electromiográfica relativa respecto al reposo.

Figura 66. Actividad electromiográfica absoluta por grupos.

Figura 67. *Ranking* global.

Figura 68. Nube de puntos de la relación entre tiempos.

Figura 69. Diagramas de caja con los tiempos y la precisión.

Figura 70. Nube de puntos de la correlación entre el grado de frustración y el tiempo empleado en ejecutar el ejercicio.

Figura 71. Diagramas de caja con los tiempos y la satisfacción.

Figura 72. Diagrama de caja con los tiempos de desarrollo del ejercicio en relación a la posición del dispositivo.

Figura 73. División de dispositivos según el grado de pronación.



Figura 74. Diagrama de caja con las distancias en relación a la valoración de la precisión.

Figura 75. Correlación entre los valores NASA-TLX y la valoración de la precisión.

Figura 76. Correlación entre los valores NASA-TLX y las perspectivas de uso.

TABLAS

Tabla 1. Esquema de la musculatura a estudio y posicionamiento de los electrodos.

Tabla 2. Equivalencias calculadas para cada dispositivo.

Tabla 3. Valores antropométricos y de fuerza.

Tabla 4. Valores descriptivos de la comodidad de agarre.

Tabla 5. Valores descriptivos de la comodidad postural.

Tabla 6. Valores descriptivos de la comodidad global.

Tabla 7. Valores descriptivos la valoración del diseño.

Tabla 8. Valores descriptivos de la valoración de la disposición de botones.

Tabla 9. Valores descriptivos de la valoración del tiempo de adaptación.

Tabla 10. Valores descriptivos de la valoración de la versatilidad.

Tabla 11. Valores descriptivos de la valoración del movimiento del cursor.

Tabla 12. Valores descriptivos de la valoración de la consecución de objetivos.

Tabla 13. Valores descriptivos de la valoración de la precisión global.

Tabla 14. Valores descriptivos de la perspectiva de uso.

Tabla 15. Valores descriptivos de la satisfacción general.

Tabla 16. Valores descriptivos de los resultados del test de Fitts *online*.

Tabla 17. Valores descriptivos de la carga mental NASA-TLX.

Tabla 18. Valores medios de la carga mental de trabajo por dimensión y dispositivo.

Tabla 19. Valores descriptivos del tiempo invertido en la realización del ejercicio.

Tabla 20. Valores descriptivos de las pulsaciones (clic izquierdo).

Tabla 21. Valores descriptivos de las distancias convertidas.

Tabla 22. Valores descriptivos de los movimientos con la rueda (*scroll*).

Tabla 23. Valores descriptivos electromiográficos en reposo.

Tabla 24. Valores descriptivos electromiográficos durante la contracción voluntaria máxima.



Tabla 25. Valores descriptivos de la actividad electromiográfica durante el ejercicio.

Tabla 26. Valores descriptivos de la actividad electromiográfica relativa respecto del reposo.

Tabla 27. Valores descriptivos de la actividad electromiográfica por grupos.

Tabla 28. Valores descriptivos electromiográficos absolutos medios por músculo y dispositivo.

Tabla 29. Valores electromiográficos relativos medios por músculo y dispositivo.

Tabla 30. *Ranking* global.

Tabla 31. Correlación entre los tiempos de ejecución y la valoración NASA-TLX.

Tabla 32. Correlación entre los valores electromiográficos por músculo.

Tabla 33. Correlación entre las dimensiones de NASA-TLX.

Tabla 34. Correlación entre los tiempos del ejercicio y los registros de Mousotron.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANATOMÍA PATOLÓGICA

1.1.1. DEFINICIÓN DE ANATOMÍA PATOLÓGICA

La Anatomía Patológica es la rama de la medicina que se ocupa del estudio, por medio de técnicas morfológicas, de las causas, el desarrollo y las consecuencias de las enfermedades. Es una especialidad médica que posee un cuerpo doctrinal de carácter básico que determina que sea, por una parte, una disciplina académica autónoma y, por otra, una unidad funcional en la asistencia médica (Orden SCO/3107/2006, de 20 de septiembre, por la que se aprueba y publica el programa formativo de la especialidad de Anatomía Patológica). El objetivo principal de la Anatomía Patológica es el estudio de la lesión para tratar de determinar su causa y sus efectos. Actualmente, tiene un fin último fundamentalmente clínico para el diagnóstico correcto de la enfermedad a través de biopsias, piezas quirúrgicas, citologías y autopsias clínicas. En el caso de la medicina, su ámbito fundamental es el de las enfermedades humanas.

El campo de acción de la Anatomía Patológica se extiende de un modo especialmente relevante a tres áreas de actividad fundamentales: asistencia, docencia e investigación:

- En el área asistencial, el anatomopatólogo, o patólogo, debe asumir la responsabilidad del diagnóstico de todas las biopsias, citologías y autopsias clínicas, así como utilizar en las muestras biológicas las técnicas apropiadas que permitan estudiar las modificaciones a nivel molecular.

- La Anatomía Patológica juega un papel fundamental en los tres niveles de la educación médica (EM): formación de pregraduados, formación de postgraduados y educación continuada. Los Servicios de Anatomía Patológica son uno de los soportes fundamentales de la educación médica, tanto para los residentes propios como para los de otras especialidades. Las sesiones interdepartamentales y clínico-patológicas generales son un elemento indispensable en la formación de postgraduados y continuada.



- La investigación básica y clínica tiene uno de sus apoyos principales en la Anatomía Patológica, tanto en líneas de ciencias morfológicas como en otras disciplinas clínicas médico-quirúrgicas.

1.1.1. PROCESO DIAGNÓSTICO MICROSCÓPICO

El diagnóstico de biopsias y citologías se hace fundamentalmente a través del estudio microscópico de las mismas, tras su procesamiento citotissular específico y el montaje en portaobjetos con la tinción correspondiente, histoquímica (HQ) o inmunohistoquímica (IHQ).

Tradicionalmente, la visualización de los elementos tisulares contenidos en las preparaciones histológicas o citológicas ha sido a través del microscopio óptico (MO), instrumento que permite la magnificación de los elementos en dichas muestras a través de un sistema óptico de lentes: ocular (10X) y objetivos (2X, 2.5X, 5X, 20X, 40X, 60X y 100X), pudiendo desplazarse la preparación sobre una plataforma horizontal denominada platina, en los tres ejes del espacio, X, Y y Z (figura 1). La integración con los conocimientos básicos de citología, histología e histopatología previos y los datos clínicos pertinentes (contexto clínico, localización de la muestra, etc.) permiten la aproximación diagnóstica al especialista en Anatomía Patológica.



Figura 1. Microscopio óptico.

1.2. PATOLOGÍA DIGITAL

1.2.1. DEFINICIÓN DE PATOLOGÍA DIGITAL

El concepto de patología digital (PD) deriva de la microscopía digital (MD) y se aplica al uso de preparaciones digitales o virtuales (PV) o tecnología de escaneado completo de preparaciones (WSI, *Whole Slide Imaging*) histológicas o citológicas, antes conocida como microscopía virtual. Consiste en la obtención mediante escáneres específicos de imágenes digitalizadas de preparaciones completas a gran resolución para su examen a cualquier nivel de magnificación, y que se visualizan desde monitores de ordenador, pudiendo estudiarse a distancia a través de las redes informáticas. La generación de estos ficheros digitales requiere un programa o *software* adaptado para la visualización de dichas preparaciones, que generalmente están caracterizadas por ser ficheros informáticos de gran tamaño (en torno a 1 *GigaByte*, GB). Dichos programas se basan en la concepción de ficheros con una organización piramidal de la imagen (Alfaro *et al.* 2011) (figura 2), en donde las imágenes individuales captadas por la cámara del escáner, a través de un movimiento robotizado de la preparación, se combinan a modo de mosaico, obteniendo la imagen virtual completa de dicha preparación.

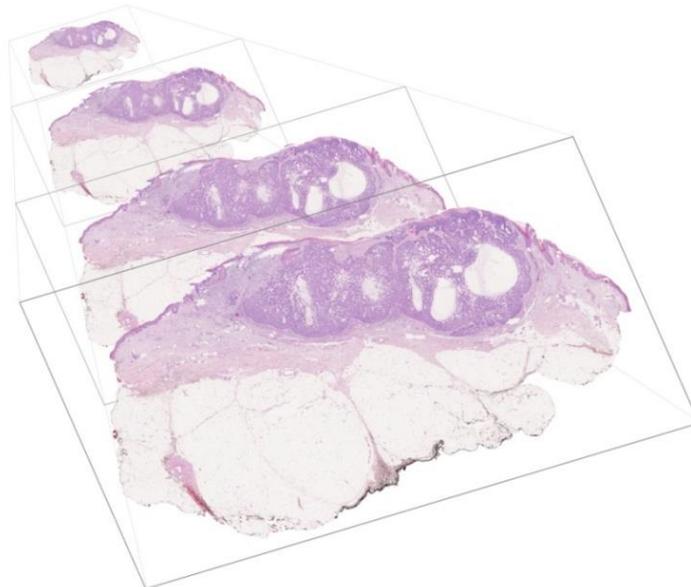


Figura 2. Organización piramidal de la imagen en patología digital. Adaptado de Alfaro *et al.* (2011).



1.2.2. APLICACIONES

1.2.2.1. DOCENTE

En los últimos años, debido al desarrollo de los sistemas informáticos y a las tecnologías de la información y comunicación (TIC), se ha facilitado la implementación de las imágenes histológicas digitalizadas en los programas formativos de asignaturas como Histología o Anatomía Patológica. La transición entre el empleo del microscopio óptico y la imagen digital se ha visto favorecida por la dotación previa de las universidades en sistemas informáticos y sólo ha sido necesaria en algunos casos la adición de escáneres y *software* para su uso.

Las ventajas que han surgido están relacionadas con la disponibilidad de los casos a estudio, pasando de estar limitada a las sesiones prácticas en la sala de microscopía óptica habilitada para su uso, a poder visualizarlos desde cualquier sitio y a cualquier hora, no viéndose limitada por tanto dicha visualización. Adicionalmente, existe un aprendizaje estandarizado debido a que se trata de los mismos casos, no viéndose perjudicados por la pérdida de color, deterioro o rotura del cristal. Del mismo modo, la calidad de la imagen ofrecida por microscopios de baja gama (restricción de campo de visión, menor número de aumentos, etc), frecuentemente encontrados en las universidades y su habitual falta de mantenimiento, resulta subóptima para un aprendizaje adecuado. Por otro lado, la interacción entre profesor y alumno se ha demostrado más eficiente mediante la utilización de las nuevas tecnologías y de foros de discusión o tutorías *online* (Sivamalai *et al.* 2011), obteniéndose una mayor comprensión de los contenidos docentes (Ordi *et al.* 2015), generando mayor interacción e incluso adaptándose a los nuevos requerimientos formativos con la adquisición de habilidades y competencias clínicas mediante simulación (Alcaraz *et al.* 2016a) y ambos, profesorado y estudiantes, han mostrado su preferencia por la imagen digital (Blake *et al.* 2003; Krippendorf *et al.* 2005; Mione *et al.* 2013), frente a la imagen analógica. Finalmente, prescindir de microscopios ópticos y su mantenimiento, además del espacio requerido en salas habilitadas para su uso, supone un ahorro considerable para las instituciones docentes. Adicionalmente, la aplicación docente y formativa se desarrolla no sólo en el grado, sino también en el postgrado (Saco *et al.* 2016) y como formación continuada, permitiendo programas de control de calidad diagnóstica para el especialista en Anatomía Patológica (Iglesias *et al.* 2015 y 2017).

1.2.2.2. INVESTIGADORA

La adquisición de imágenes digitales permite la identificación de regiones de interés (*region of interest*, ROI) y la aplicación de algoritmos de análisis o aprendizaje automatizado. Actualmente, debido al desarrollo computacional, han surgido herramientas de *deep learning* o aprendizaje profundo, basado en el aprendizaje a través de ejemplos con algoritmos de aprendizaje de extracción de información y clasificación, con modelos denominados “redes neuronales convolucionales” (*convolutional neuronal network*, CNN) (Sharma *et al.* 2017). Una imagen puede ser definida como una función bidimensional de intensidad de luz $f(x, y)$, donde x e y representan las coordenadas espaciales y el valor de f en un punto cualquiera (x, y) es proporcional al brillo (o nivel de gris) de la imagen en ese punto. Una imagen digital es una imagen $f(x, y)$ que se ha discretizado tanto en las coordenadas espaciales como en el brillo. Dicha imagen puede, igualmente, considerarse como una matriz cuyos índices de fila y de columna identifican un punto de la imagen y el valor del correspondiente elemento de la matriz indica el nivel de gris en ese punto. Los elementos de una distribución digital de este tipo se denominan elementos de la imagen o más comúnmente *pixels*, abreviatura de su denominación inglesa “*picture elements*”.

Las etapas del procesamiento de una imagen tradicionalmente incluyen (figura 3): la **obtención** de la misma, su **preprocesamiento**, para detectar y eliminar los fallos que puedan existir en la imagen para mejorarla, incluyendo mejoras de contraste, eliminación de ruido y restauración, fundamentalmente. A continuación, la **segmentación**, en donde la imagen se divide en sus partes constituyentes con la finalidad de separar las partes necesarias de procesamiento del resto de la imagen que no interesa. Las técnicas básicas de la segmentación afectan al *pixel*, a los bordes y a las regiones. Seguidamente, la fase de **descripción** o **extracción** permite la extracción de características con algún tipo de información cuantitativa de interés o que permitan el diferenciar una clase de objetos de otra. La penúltima etapa del procesamiento de la imagen es la de **reconocimiento e interpretación**, en donde se etiqueta al objeto, basándose en la información proporcionada por el proceso de descripción. Los objetos reconocidos dotados de significado son interpretados. Por último, el **sistema o base de conocimiento**, que almacena el dominio del problema



para guiar la operación de cada módulo de procesamiento, controlando igualmente la interacción entre dichos módulos (La Serna *et al.* 2009).



Figura 3. Fases del procesamiento de una imagen.

Basándose en estos conceptos de procesamiento de la imagen, se aplican algoritmos para estudios no sólo preclínicos sino también en la parte asistencial. Estos, basados fundamentalmente en *software* tipo *image J*, incluyen, entre otros, cuantificación de marcadores inmunohistoquímicos como el marcador de proliferación celular Ki67 (Hale *et al.* 2013), tinciones con implicaciones pronósticas (Tobin *et al.* 2012) y de respuesta a tratamiento como la proteína Her-2 (*human epidermal growth factor receptor 2*) (Nassar *et al.* 2011; Keller *et al.* 2012), detección de áreas de necrosis tumoral, neovascularización (Fernández-Carroble *et al.* 2014), patrones glandulares complejos para la detección automatizada de neoplasia o detección nuclear en la distinción de neoplasias benignas y malignas (Gertych *et al.* 2015). Actualmente, por los desarrollos computacionales antes descritos, se está viendo un incremento significativo de estudios basados en técnicas de *deep learning*, con capacidad para clasificar pólipos colorrectales (Korban *et al.* 2017), carcinomas gástricos (Sharma *et al.* 2017) (figura 4), cánceres de mama (Araújo *et al.* 2017) o incluso gradación del cáncer de próstata (Rezaeilouyeh *et al.* 2016).

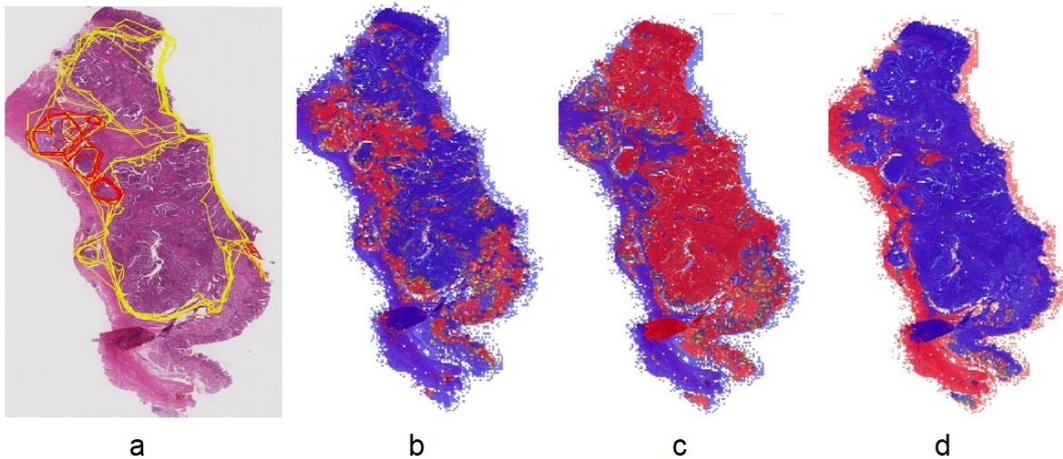


Figura 4. Ejemplo de *deep learning*. Tomado del trabajo de Sharma *et al.* (2017) donde: a) Imagen de HE con anotaciones de áreas de neoplasia gástrica; b) positividad para HER2; c) negatividad para HER2; d) tejido no neoplásico.

1.2.2.3. ASISTENCIAL

La aplicación en el diagnóstico primario de la imagen digital es una realidad desde hace unos pocos años, siendo aún escasos los centros que digitalizan la totalidad del trabajo. Recientemente, la agencia gubernamental estadounidense de Administración de Alimentos y Medicamentos (*Food and Drug Administration* o FDA), aprobó su uso para diagnóstico primario (Abels *et al.* 2017; Boyce 2017). Esta aprobación, ayudada por las guías de validación publicadas por el Colegio Americano de Patólogos (CAP) por Pantanowitz *et al.* 2013, y apoyadas y reforzadas por otras sociedades de patólogos como la Sociedad Española de Anatomía Patológica, SEAP (García-Rojo *et al.* 2015) y la Sociedad Canadiense de Patólogos (Tetu y Evans 2014) están ocasionando un avance en su implementación.

Las ventajas que proporciona la patología digital en el ámbito asistencial incluyen:

- Un mejor diagnóstico de los casos. La imagen digitalizada tiene un rendimiento diagnóstico similar a la imagen ofrecida por el microscopio óptico, con una elevada concordancia, demostrada por los estudios de Campbell *et al.* (2012 y 2014), Al-Janabi *et al.* (2012), y Rodríguez-Urengo *et al.* (2011), entre otros. De manera



adicional, las características del *software* empleado para la visualización de preparaciones digitales permite la visión panorámica, facilitando una concepción global de las mismas, un aspecto limitante en la microscopía óptica convencional. Otro aspecto que permite una mejoría diagnóstica es la visualización simultánea de preparaciones, que aporta por un lado una composición de la imagen en mosaico que permite la medición exacta y correcta estadificación de neoplasias y, por otro, la comparación de tinciones, tanto HQ: hematoxilina-eosina (HE), ácido periódico de Schiff (PAS), Grocott, Ziehl-Nielsen, hierro, Azul Alcían, etc. como IHQ, con patrones de expresión diferencial en el campo de la hematopatología (síndromes linfoproliferativos), con los distintos clusters de diferenciación (CD), que permiten su correcta tipificación, así como en otras patologías, fundamentalmente neoplásicas, incluyendo las lesiones melánicas (Melan A, HMB-45, Factor de transcripción de microftalmia, MITF, S-100), prostáticas (Racemasa y citoqueratinas de alto peso tipo 34BE12), epiteliales (patrón de citoqueratinas) y en lesiones de origen desconocido.

- La superespecialización del patólogo, que conlleva una mayor eficiencia en su trabajo, restringiendo las áreas de conocimiento y pudiendo desarrollar en profundidad el área asignada, repercutiendo en el tiempo de respuesta y en la calidad de los diagnósticos (López *et al.* 2009).

- La interconsulta de casos con otros especialistas del mismo centro de manera simultánea o de centros alejados geográficamente, mediante telemedicina, haciendo uso de las redes informáticas de comunicación (*internet*). La presencia de centros de referencia y de superespecialistas consultores, debido al punto anteriormente citado, acelera y mejora el proceso diagnóstico (Peces *et al.* 2008; Graham *et al.* 2009; Weinstein *et al.* 2009; Ayad 2011).

- Reducción de las discrepancias inter/intraobservador y de la subjetividad en la medición de parámetros con significado pronóstico, como la distancia a márgenes quirúrgicos, la profundidad o la infiltración tumoral en el caso de neoplasias cutáneas, bien sean melanocíticas (melanoma) o epiteliales (carcinomas basocelulares y de células escamosas), y la cuantificación de tinciones inmunohistoquímicas como el marcador de proliferación celular Ki67 o la proteína Her-2, ampliamente utilizados en patología tumoral mamaria (López *et al.* 2014; Zhong *et al.* 2016), así como el marcador Ki67 en neoplasias de tipo neuroendocrino (Tang *et al.* 2012).

Adicionalmente, el análisis de imagen, fundamentado en las tecnologías de *deep learning*, prevee una mayor eficiencia de los Servicios de diagnóstico.

- Una mayor comprensión de la enfermedad en los comités multidisciplinares, pudiendo mostrar al resto de miembros, clínicos y cirujanos, los hallazgos histopatológicos de un modo interactivo a través de la imagen, al igual que las pruebas de radiodiagnóstico aportadas por el especialista en radioimagen.

- El almacenamiento de la imagen en servidores informáticos o en discos duros locales permite una recuperación inmediata de la información, evitando el deterioro y pérdida de las preparaciones, así como el tiempo consumido en su búsqueda por administrativos, histotecnólogos o patólogos (Ho *et al.* 2014). Adicionalmente, un manejo óptimo de las muestras y su procesamiento y digitalización pueden optimizar los recursos hospitalarios (Alcaraz *et al.* 2016b).

No obstante, existen aún inconvenientes, todos ellos relativos y aparentemente subsanables en el tiempo, que hacen que pese a que la implementación asistencial sea progresiva como demuestran los estudios de Al-janabi (2012), Pantanowitz (2011) o Nap (2012), no sean una realidad aún de manera generalizada. Estos derivan fundamentalmente del tipo de archivo de imagen que se genera tras el escaneado de la preparación, aspecto que se pone de manifiesto fácilmente con estudios citológicos (Wright *et al.* 2013). Esto es, un elevado peso en *bytes* (Nap 2016), formatos de compresión de la imagen dispares dependiendo del escáner empleado y la difícil adaptación al formato estándar DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*) (García-Rojo 2016), un formato reconocido mundialmente para el intercambio de pruebas médicas, pensado para su manejo, visualización, almacenamiento, impresión y transmisión y, por tanto, importante para su integración en los sistemas de información hospitalaria (SIH). Los altos volúmenes de trabajo hospitalario, las limitaciones técnicas de los sistemas informáticos, así como los costes asociados (Ho *et al.* 2014), son otras de las dificultades actuales. Por otra parte, debido al aspecto novedoso y tecnológico de la patología digital, no es despreciable la reticencia de un porcentaje de profesionales de Anatomía Patológica, que alcanza al 52% de patólogos, según una reciente encuesta nacional (Alcaraz y Caballero 2015). Los motivos incluyen la tradición en el uso del microscopio óptico, la falta de legislación sobre la gestión de las imágenes y la potencial falta de control sobre la



imagen digitalizada, que puede verse perjudicada como en el campo de radiodiagnóstico (Allen 2014, Weniz 2007).

1.2.3. COMPONENTES

Los principales componentes de un sistema de escaneado completo de preparaciones digitales son tres: el escáner, el *software* de gestión y visualización de imágenes y el almacenamiento de las mismas (figura 5). Trataremos sólo los dos primeros componentes, dado que el último es tan sólo un requerimiento de mayor relevancia para la implementación en el ámbito clínico.

1.2.3.1. ESCÁNER

Permite la adquisición de la imagen a partir de una preparación histológica o citológica convencional (portaobjetos que contiene la sección tisular teñida), obteniendo un fichero de imagen digital, con un tamaño definido por el número de píxeles en longitud (dimensión horizontal), multiplicado por el número de píxeles en anchura (dimensión vertical). Se encuentra constituido por un alimentador de preparaciones, variable en número, donde se ubican las mismas; una fuente de luz (halógena, arco xenón o LED); un condensador con formato de iluminación tipo Kölner, preferentemente; la óptica, tanto de objetivos como de lentes accesorias, que proporciona un aumento final de la imagen según el estándar ISO 8039:1997; el sistema de movimiento de la platina donde se realiza el proceso de adquisición de imágenes, dotado de ejes X, Y y Z; la cámara fotográfica con la que se toman las imágenes, que resulta uno de los factores críticos del sistema de digitalización. Generalmente se trata de cámaras con sensores CCD (*Charged Coupled Device*) o CMOS (*Complementary Metal–Oxide–Semiconductor*), también llamado APS (*Active Pixel Sensor*), con conversión analógica-digital. Las características de calidad de una cámara digital vienen determinadas, principalmente, por la resolución de imagen o tamaño del CCD (número de píxeles que el sensor CCD es capaz de detectar) y debe medirse en micrómetros (μm) por píxel, siendo el valor mínimo recomendable de 0,5 $\mu\text{m}/\text{píxel}$ (equivalente a un objetivo de 20x) para diagnóstico histopatológico y 0,25

$\mu\text{m}/\text{píxel}$ (equivalente a uno de 40x) para diagnóstico citopatológico (García-Rojo *et al.* 2015).



Figura 5. Sistema de patología digital. Escáner (izquierda), monitor (centro), ordenador (derecha).

1.2.3.2. SOFTWARE DE GESTIÓN Y VISUALIZACIÓN DE IMAGEN

El proceso de composición de la preparación digital consiste capturar distintos campos de la preparación física y posteriormente unirlos, generando la preparación virtual, de manera automática. La captura de campos microscópicos suele ser cuadro a cuadro (*tiles*) o tira a tira (*stitch* en alemán) y la imagen final se genera como consecuencia de un proceso de ensamblaje que será mediante *tiling*, alineando los bordes de cada cuadro o bien, mediante *stitching*, con la superposición de los bordes, consiguiendo una imagen en mosaico (García-Rojo 2005) (figura 6).

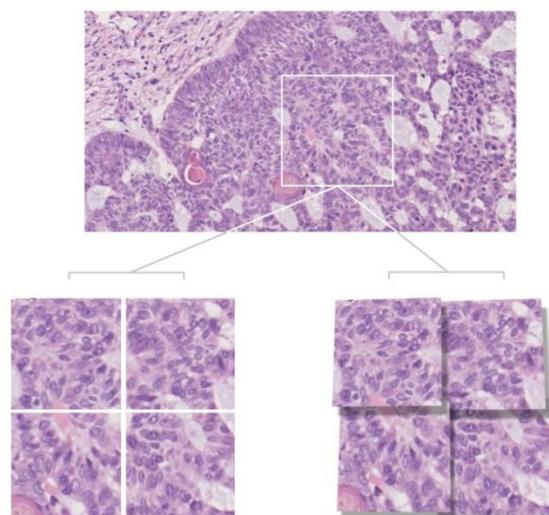


Figura 6. Ensamblaje de campos mediante *tiling* (izquierda) y *stitching* (derecha).



Dadas las características de la imagen, relacionadas con su elevado tamaño, debe poder realizarse una compresión de los archivos para su manejo. Las técnicas de compresión se pueden dividir en aquellas sin pérdida de información o con pérdida de información. Las primeras pueden reducir la cantidad de información a la mitad o a una tercera parte, consiguiendo una reducción del fichero de hasta 50 veces con respecto al original. El método de compresión más empleado es el JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) o más reciente JPEG2000, que consiguen una alta compresión de las imágenes escaneadas, manteniendo una alta calidad de las mismas. Los archivos son finalmente guardados con un formato o tipo de fichero, como el JFIF (*Jpeg File Interchange Format*), frecuentemente llamado JPEG por su tipo de extensión (.jpg o .jpeg), JPEG2000 o JP2, o con otros como el TIFF (*Tagged Image Format File*) que puede contener imágenes sin comprimir (*raw*) o comprimidas con técnicas sin pérdida o con ella. Idealmente, los archivos obtenidos en patología digital deberían mantener los estándares para el intercambio de imágenes médicas DICOM, al igual que en radiodiagnóstico (Bueno *et al.* 2016).

Con el fichero de imagen digital, se emiten señales ópticas que recibe el usuario a través de un monitor de visualización que debe tener una resolución mínima recomendada de 2K (1920x1080 píxeles) y un tamaño no inferior a 22 pulgadas, todo ello para uso diagnóstico y siendo los requerimientos mínimos menores para uso docente o investigador (García-Rojo *et al.* 2015; Krupinski 2009). El *software* de manipulación y revisión de la imagen debe permitir el movimiento en los ejes X e Y, e incluso también en el eje Z (múltiples planos o profundidad), visualización simultánea de preparaciones, así como poseer herramientas básicas de mejora de imagen (enfoque, color, balance de blancos, filtros, histograma), de anotación e incluso de análisis de imagen. Para el movimiento de la imagen, si bien es habitual el empleo del teclado y del ratón convencional, no existe aún un consenso en relación a cuál es el controlador óptimo para dicho fin (García-Rojo 2016).

Todo lo descrito conlleva un periodo de adaptación del patólogo, acostumbrado a una herramienta analógica como es el microscopio óptico, y le supone familiarizarse con un entorno digital, con uso de sistemas informáticos y la interacción con los mismos para poder ejercer su labor, bien sea docente, asistencial o investigadora.

1.3. INTERACCIÓN HUMANO-COMPUTADORA.

La interacción humano-computadora (IHC) o persona-ordenador (IPO) es una disciplina que se encarga del estudio del intercambio de información a través de algún tipo de *software* y/o *hardware* entre los humanos y las computadoras. Se centra fundamentalmente en el diseño, evaluación e implementación de dispositivos tecnológicos interactivos. El objetivo primordial es que la interacción entre los usuarios y los dispositivos sea eficiente y eso implica que exista una minimización de los errores, un incremento en la satisfacción del usuario y una reducción de la frustración potencial asociada al uso del dispositivo. En resumen, hacer más eficientes y productivas las tareas rutinarias y de trabajo de las personas.

La IHC tiene sin duda un carácter multidisciplinar. Para el diseño de un sistema interactivo se deberían tener en cuenta aspectos relacionados con la psicología para considerar las capacidades perceptivas, cognitivas y de solución de problemas; aspectos ergonómicos para no obviar los aspectos físicos asociados a dicha interacción; nociones de sociología para englobar la IHC dentro de un contexto más amplio de interacción; ciencias de ingeniería electrónica e informática para diseñar y construir la tecnología requerida; negocios, para ser capaz de vender el producto; diseño gráfico para generar una interfaz efectiva, etc. (Dix *et al.* 2004).

La interacción con el mundo se produce a través de la información que se recibe y que se envía: *input* y *output*. En la interacción con un ordenador, el usuario recibe la información que emite el ordenador y responde enviando información que recibirá este último. La IHC se produce a través de los sentidos de la vista (interfaz gráfica y cámara de vídeo), oído (altavoces o auriculares y micrófono) y tacto (dispositivos de entrada). Los sistemas efectores son fundamentalmente los dedos a través del teclado o el ratón, pudiendo también tener su papel la voz y su reconocimiento (Hendricks *et al.* 2002; Singh y Pal 2011; Juul-Kristensen *et al.* 2002; Hartman 2015) o la detección de movimiento ocular, facial o corporal (Betke 2002).

1.3.1 EL RATÓN.

Se trata de un dispositivo electrónico involucrado en la IHC que facilita el manejo de interfaces gráficas mediante el desplazamiento del puntero o cursor sobre



la pantalla. Fue desarrollado en los años 60 por Douglas Engelbart y William English (Figura 7) en el *Stanfor Research Institute* de California (Ceruzzi 2003). Se trata de un dispositivo abarcable con la palma de la mano que permite ser desplazado sobre una superficie horizontal, frecuentemente el escritorio. Permite el movimiento en los ejes X e Y con el desplazamiento horizontal, a través del registro de la señal, antiguamente por sistemas mecánicos y, en la actualidad, por sistema ópticos (donde el sensor, que incorpora iluminación LED, fotografía la superficie sobre la que se encuentra el ratón y, detectando las variaciones entre sucesivas fotografías, se determina si el ratón ha cambiado su posición) o por láser (con mayor precisión), que son los que efectúan la conversión analógica-digital. Adicionalmente, el ratón dispone de botones en su superficie, con otras funcionalidades que permiten seleccionar o iniciar acciones tras el movimiento y desplazamiento del puntero. Para dicho desplazamiento sobre la pantalla, el usuario debe movilizar su miembro superior (izquierdo o derecho, según la mano que utilice el dispositivo), viéndose involucradas las articulaciones y musculatura, no sólo de la mano, sino también de la muñeca, antebrazo, codo, brazo, hombro y espalda, habiéndose descrito problemas y sintomatología asociada a su uso continuado.

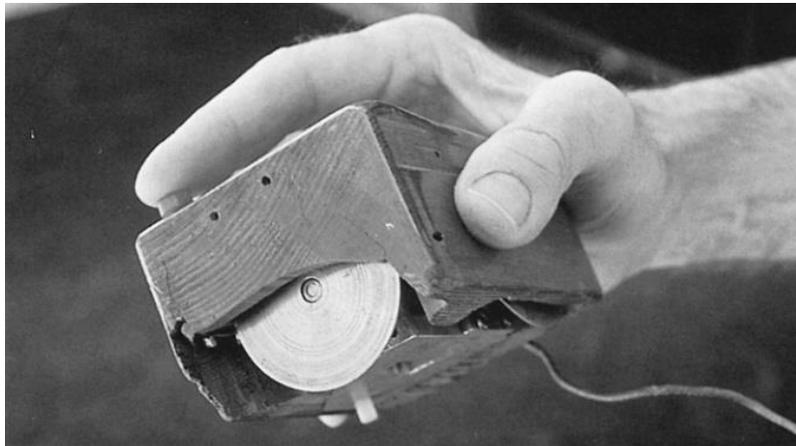


Figura 7. Prototipo del primer ratón por Engelbart y English.

Los dispositivos de entrada, tanto el ratón convencional como los descritos a continuación van a tener una característica común, independientemente de otros aspectos tales como el tipo de sensor (óptico o láser), conexión (cableado o inalámbrico, bien por radiofrecuencia o por infrarrojos) o la velocidad de refresco

(cantidad de imágenes que el ratón puede tomar por segundo), medida en hercios. Se trata de los puntos por pulgada o conteos por pulgada (*dots per inch*, dpi o *counts per inch*, cpi), siendo este último término, cpi, el más correcto, dado que no son puntos en analogía a la impresión de una imagen, sino que corresponden a contajes o *pixels* virtuales. Los ratones ópticos convencionales alcanzan habitualmente los 800 cpi y los que tienen sensor láser pueden superar los 5000 cpi. La diferencia radica en que, a mayor número de cpi, menor será el movimiento físico del usuario sobre el ratón para mover el cursor en la pantalla. Esto puede ser configurable tanto en el propio dispositivo, según el modelo, como a nivel del sistema operativo de la computadora.

1.3.2. OTROS DISPOSITIVOS DE ENTRADA.

Con los desarrollos y evolución de las interfaces humano-computadora, han ido surgiendo otros dispositivos de entrada en los últimos años como alternativas al ratón convencional. Éstos, han tratado de solventar limitaciones en la funcionalidad del primero, prevenir o mejorar sintomatologías asociadas a su sobreuso (Aaras *et al.* 2001; Odell *et al.* 2015; Schmid *et al.* 2015; Goodman *et al.* 2012; Brown *et al.* 2007; Bachmann *et al.* 2014; Sherbondy *et al.* 2005) o incluso adaptarse a situaciones de discapacidad.

El *touchpad* o panel táctil, es una superficie aplanada de 2-3 pulgadas (5,08-7,62 cm) que permite controlar el cursor y facilitar la navegación a través de una interfaz gráfica mediante el desplazamiento y contacto de uno o más dedos sobre la misma. Aparece de manera habitual en los ordenadores portátiles si bien pueden encontrarse como complemento para ordenadores de sobremesa. Se acompañan de botones, si bien, dependiendo del modelo, la presión ejercida sobre el mismo panel permite igualmente la funcionalidad de selección o iniciación de acción. Según el tipo de tecnología empleada se dividen en resistivas, capacitativas o por superficie de onda.

Otro dispositivo que se asemeja al anterior por mostrar una superficie plana es la tableta gráfica o tableta digitalizadora, en la que habitualmente se emplea un puntero que hace la función de lápiz, permitiendo hacer trazos o usar la misma para



mover el cursor. Se utiliza en el ámbito del diseño gráfico aunque se ha visto su descripción en otros campos, como el de Radiodiagnóstico (Chen *et al.* 2011).

El *trackball* se basa en el movimiento del cursor evitando desplazamientos del brazo y se le considera como un ratón invertido en donde los dedos, frecuentemente el pulgar, moviliza una esfera que genera el desplazamiento del cursor. Existen variaciones del tamaño y forma y, debido a sus características, a menudo se vende para usuarios con problemas musculoesqueléticos asociados al sobreuso del ratón convencional.

Cabe mencionar otros sistemas significativamente distintos al ratón convencional, como las tabletas o computadoras integradas en una pantalla multitáctil de gran formato (Wang *et al.* 2012), los sistemas *touchless* (Bachmann *et al.* 2014) con cámaras infrarrojas, como los sistemas Kinect (Sinha *et al.* 2016) o Leap Motion, incluido su uso en el ámbito médico (Ebert *et al.* 2012; Lahanas *et al.* 2017; Xu *et al.* 2017), los sistemas de reconocimiento gestual o de movimiento facial u ocular, a través de cámaras de vídeo, enfocados a situaciones de discapacidad, fundamentalmente (Pereira *et al.* 2009; Man *et al.* 2007; Kim *et al.* 2013; Sánchez-Ferrer *et al.* 2017; Alcaraz *et al.* 2018), así como las interacciones a través de reconocimiento de voz (De Korte *et al.* 2006; Singh *et al.* 2011). Estos últimos sistemas de interacción son considerados como interfaces naturales del usuario (*natural user interface*, NUI) (Sánchez-Margallo *et al.* 2017).

En el campo de la Anatomía Patológica existen además dispositivos como el Ergo Controller o el Ergopointer, que asemejan el sistema empleado por el microscopio óptico, pero con una conversión digital hacia la interfaz de usuario en la computadora.

La interacción humano computadora a través de pantallas de visualización de datos (PVD) y por medio de dispositivos de entrada diferentes al teclado tiene una serie de requisitos ergonómicos reflejados en UNE-EN ISO 9241-9:2001, donde se consideran aspectos para la adecuación y el buen uso de dichos dispositivos, con el fin de prevenir o mejorar la sintomatología asociada a su sobreuso a nivel laboral, es decir, los trastornos musculoesqueléticos.

1.4. TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS

1.4.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) representan la causa más frecuente de enfermedad profesional en Europa, afectando a millones de trabajadores. El 25 % de los trabajadores sufre dolor de espalda y el 23 % tiene dolores musculares. Son causa de preocupación no sólo por los efectos en la salud de los trabajadores, sino también por las repercusiones económicas para las empresas y los costes sociales para los países europeos (Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo - *European agency for safety and health at work*, EU-OSHA 2010).

Los TME son alteraciones de más o menos gravedad, que abarcan desde incomodidad, molestias o dolores hasta cuadros más graves, con necesidad de tratamiento médico o fisioterápico y que pueden requerir baja laboral e incluso resultar incapacitantes (EU-OSHA 2010). Pueden afectar a los músculos, articulaciones, tendones, ligamentos, huesos y nervios del cuerpo, generalmente, de la espalda, cuello, hombros y extremidades superiores, fundamentalmente. La mayor parte de los TME de origen laboral se van desarrollando con el tiempo y son provocados por el propio trabajo o por el entorno en el que éste se lleva a cabo. También pueden ser resultado de accidentes, como por ejemplo, fracturas y dislocaciones (EU-OSHA 2010). Así pues, de acuerdo con esto último, una parte de los TME que se originan en nuestro país los vamos a encontrar registrados como accidentes causados por sobreesfuerzos y otra parte corresponden a enfermedades profesionales osteomioarticulares (EPOMA) derivadas de factores biomecánicos, como posturas, repetitividad de las acciones o vibraciones (Villar 2014). Sin embargo, aunque el Cuadro de Enfermedades Profesionales recoge algunos TME, o mejor, algunas EPOMA, como las tendinitis o el síndrome del túnel carpiano, no se incluyen trastornos tan frecuentes como las lumbalgias, las cervicalgias o las dorsalgias u otras afecciones de la espalda (Villar 2014). Todo lo anterior da idea de la dificultad del análisis, ya que no es posible obtener los datos de una única fuente, lo que hace casi imposible conocer con exactitud la incidencia real de los TME en el conjunto de la población laboral. Por ello, además de los datos relativos a accidentes o enfermedades profesionales, hay que incluir también los procedentes del sistema PANOTRATSS (Comunicación de patologías no traumáticas causadas por el trabajo), que recoge



información sobre las enfermedades no incluidas en la lista de las profesionales, pero que se prueben contraídas por el trabajador con motivo de la realización de su trabajo, así como, las enfermedades o defectos agravados como consecuencia de un accidente de trabajo (Villar 2014).

Globalmente, en España las EPOMA suponen más de las 2/3 partes de todas las enfermedades profesionales, concretamente el 80.1 % en 2011 (De Vicente *et al.* 2012). La mayor parte de dichas patologías afectaron al aparato locomotor, en particular a la columna vertebral y la espalda. Otra fuente importante de información son los resultados de las Encuestas Nacionales de Condiciones de Trabajo (ENCT). En la VII ENCT 2011 (Almodóvar *et al.* 2012), el 59% de los encuestados manifestaron estar sometidos a movimientos repetitivos, y el 35,8% a posturas dolorosas o fatigantes. Un 77,6% de los encuestados manifestó sentir alguna molestia frecuente asociada a las demandas físicas de su trabajo. Las más frecuentes se localizaban en la zona baja de la espalda, el cuello y en la extremidad superior, considerada en su conjunto.

Las lesiones asociadas a los trabajos repetidos se dan comúnmente en los tendones, los músculos y los nervios del hombro, antebrazo, muñeca y mano. Los diagnósticos son muy diversos: tendinitis, peritendinitis, tenosinovitis, mialgias y atrapamientos de nervios distales (Barba 2007).

Los traumatismos acumulativos específicos pueden producirse en (Cilveti e Idoate 2000):

A – Mano y muñeca.

1. Tendinitis: es una inflamación de un tendón debida, entre otras causas a flexoextensiones repetidas; el tendón está repetidamente en tensión, doblado, en contacto con una superficie dura o sometido a vibraciones. Como consecuencia de estas acciones se desencadenan los fenómenos inflamatorios en el tendón, que se engruesa y se hace irregular.

2. Tenosinovitis: Cuando se producen flexoextensiones repetidas, el líquido sinovial que segrega la vaina del tendón se hace insuficiente y esto produce una fricción del tendón dentro de su funda, apareciendo como primeros síntomas calor y dolor, que son indicios de inflamación. Así, el deslizamiento es cada vez más forzado y

la repetición de estos movimientos puede desencadenar la inflamación de otros tejidos fibrosos que se deterioran, cronificándose la situación e impidiendo finalmente el movimiento. Un caso especial es el Síndrome De Quervain, que aparece en los tendones abductor largo y extensor corto del pulgar al combinar agarres fuertes con giros o desviaciones cubitales y radiales repetidas de la mano. Otra variedad de tenosinovitis es el dedo en resorte o tenosinovitis estenosante digital, bloqueo de la extensión de un dedo de la mano por un obstáculo generalmente en la cara palmar de la articulación metacarpofalángica y que afecta a los tendones flexores cuando pasan por una polea fibrosa a este nivel. En estos casos, la inflamación y engrosamiento del tendón o de su vaina, así como la presencia de adherencias por la sinovitis producida, provoca un conflicto de espacio en el normal deslizamiento del tendón y la vaina por esa polea.

3. Síndrome del túnel carpiano: se origina por la compresión del nervio mediano en el túnel carpiano de la muñeca, por el que pasan el nervio mediano, los tendones flexores de los dedos y los vasos sanguíneos. Si se hincha la vaina del tendón se reduce la abertura del túnel presionando el nervio mediano. Los síntomas son dolor, entumecimiento, hormigueo y adormecimiento de parte de la mano: de la cara palmar del pulgar, índice, medio y anular; y en la cara dorsal, el lado cubital del pulgar y los dos tercios distales del índice, medio y anular. Se produce como consecuencia de las tareas desempeñadas en el puesto de trabajo que implican esfuerzos o movimientos repetidos, apoyos prolongados o mantenidos y posturas forzadas mantenidas.

4. Síndrome del canal de Guyon: se produce al comprimirse el nervio cubital cuando pasa a través del túnel Guyon en la muñeca. Puede originarse por flexión y extensión prolongada de la muñeca, y por presión repetida en la base de la palma de la mano.

B - Brazo y codo.

1. Epicondilitis y epitrocleítis: en el codo predominan los tendones sin vaina. Con el desgaste o uso excesivo, los tendones se irritan produciendo dolor a lo largo del brazo o en los puntos donde se originan en el codo por incremento de la tensión. Las actividades que pueden desencadenar este síndrome son movimientos de impacto



o sacudidas, supinación o pronación repetida del brazo, y movimientos de flexoextensión forzados de la muñeca.

2. Síndrome del pronador redondo: aparece cuando se comprime el nervio mediano en su paso a través de los dos vientres musculares del pronador redondo del brazo.

3. Síndrome del túnel radial: aparece al atraparse periféricamente el nervio radial, originado por movimientos rotatorios repetidos del brazo, flexión repetida de la muñeca con pronación o extensión de la muñeca con supinación.

4. Tenosinovitis del extensor largo del primer dedo: originado por movimientos rotatorios repetidos del brazo.

C – Hombro.

1. Tendinitis del manguito de rotadores (formado por el infraespinoso, redondo menor y deltoides): los trastornos aparecen en trabajos donde los codos deben estar en posición elevada, o en actividades donde se tensan los tendones o la bolsa subacromial; se asocia con acciones de levantar y alcanzar, y con un uso continuado del brazo en abducción o flexión.

1.4.2. TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS ASOCIADOS A MICROSCOPIA

Dentro de las enfermedades ocupacionales de los patólogos, se encuentran los TME que, según la EU-OSHA, se encuentran asociados al trabajo prolongado en posturas estáticas, con la contracción repetida de los mismos grupos musculares (OSHA 2007). Su prevalencia es mucho mayor en el colectivo de patólogos y otros microscopistas en los estudios que hay publicados con respecto a la media europea, con porcentajes que alcanzan el 85% (Thompson *et al.* 2003). Desde el primer artículo al respecto, en los años 80, por Soderberg *et al.* en microscopistas informáticos, han sido varios las encuestas publicadas dentro del colectivo de usuarios de microscopio a nivel clínico (Thompson *et al.* 2003; Lorusso *et al.* 2007; Flavin *et al.* 2010; Fritzsche *et al.* 2012; Alcaraz y Caballero 2015; Gupta *et al.* 2015). Los resultados de la encuesta realizada a la población de patólogos españoles (Alcaraz y

Caballero 2015), muestran porcentajes superponibles, presentando una prevalencia del 83% (figura 8).

| PME | Hombres % | Mujeres % | General % |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| Cefalea tensional | 53,2 | 53,2 | 53,2 |
| Cervical | 62,2 | 56,5 | 58,4 |
| Espalda alta | 55,8 | 51,9 | 53,2 |
| Espalda baja/lumbar | 41,0 | 41,2 | 41,1 |
| Hombros | 24,4 | 25,3 | 25,0 |
| Codos | 3,2 | 5,0 | 5,0 |
| Muñecas | 19,9 | 21,3 | 20,8 |
| Global | 82,7 | 83,3 | 83,0 |

Figura 8. Trastornos musculoesqueléticos por sexo y localización (Alcaraz y Caballero 2015).

Trabajar con microscopio demanda concentración y precisión durante largos periodos de tiempo, lo que obliga al trabajador a mantener una postura estática, rígida e incómoda, con una elevada actividad muscular a nivel del cuello y de la espalda, demostrada por estudios mediante electromiografía (Kofler *et al.* 2002). A pesar de que existen en el mercado microscopios ergonómicos que han mostrado una reducción en dicha sintomatología (Nielen 2010) e incluso en la productividad, con un incremento de la misma de hasta el 25% (Haines y McAtamney 1993), su uso no es generalizado y no se integra en un concepto global de estación de trabajo, ergonómicamente hablando. La estación de trabajo la constituye el microscopio, pero también la mesa, la silla y otros elementos y así lo planteaban Kreczy *et al.* en *The Lancet* en 1999. Un problema añadido, resulta el uso combinado con el ordenador, otro elemento a considerar si hablamos de TME, con porcentajes de afectación similares a los antes descritos en microscopia.

Existe una guía publicada por el Centro de Control y Prevención de Enfermedades (CDC), modificada por George (2010) para reducir el riesgo de sufrir TME en el colectivo de microscopistas. Esta incluye los siguientes puntos:

- Estación de trabajo personalizada y ajustable (silla, superficie de trabajo y microscopio) (figura 9).



- Evitar el exceso en la utilización del microscopio. No sobrepasar 5 h al día y tratar de efectuar pequeños descansos así como variar el tipo de actividad durante la jornada de trabajo.
- Ejercicio. Efectuar durante la jornada laboral y fuera de ella ejercicios y estiramientos de espalda y miembros superiores, fundamentalmente.
- Promover una posición neutra de la columna vertebral. Esto sólo es posible con una estación de trabajo ergonómica (silla, superficie de trabajo y microscopio).
- Apoyo. La posición estática no evita el trabajo muscular. Antebrazos, espalda y pies deben estar provistos de apoyo.

Sin embargo, el porcentaje de patólogos que posee un microscopio ergonómico alcanza a lo sumo el 60% (Fritzsche *et al.* 2012) y las actividades tanto de descanso regular como para realización de estiramientos se limitan al 16-22% (Alcaraz y Caballero 2015; Frietsche *et al.* 2012).

Las consecuencias de los TME en la población de patólogos y otros profesionales es el deterioro en la salud y estado de bienestar, reduciendo su eficiencia y productividad, teniendo por tanto implicaciones económicas, relacionadas con baja laboral (en la encuesta española, el 10,8% de los encuestados había sufrido baja laboral a consecuencia de los TME: el 63,3% una vez, el 24,5% dos veces y el 12,2% tres o más veces, con una duración que oscilaba entre un día y nueve meses) e incluso estados de incapacidad. La sintomatología se da con tal intensidad que el 39,3% de los patólogos han recurrido a tratamiento fisioterápico y el 35,4% a tratamiento farmacológico (Alcaraz y Caballero 2015).

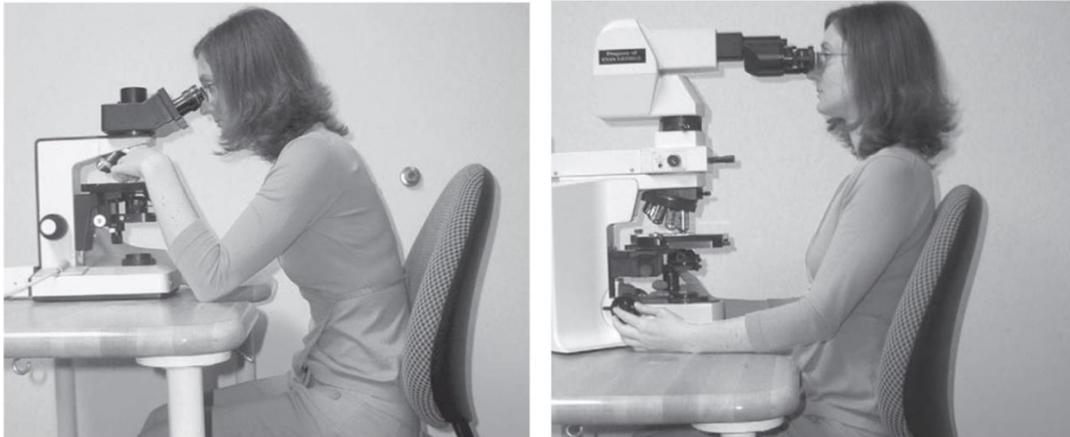


Figura 9. Microscopio convencional (izquierda) y ergonómico (derecha), según George (2010).

Con el advenimiento de la patología digital, los especialistas en Anatomía Patológica dejarán a un lado el microscopio, pero a cambio dedicarán más horas al uso del ordenador, que por defecto igualmente empleaban, pero en menor medida. Por ello, debemos de considerar la problemática asociada al uso de estos dispositivos como ya se plantearon con anterioridad especialistas de Radiología, cuando se implementó la imagen digital en dicha especialidad (Harisinghani *et al.* 2004; Sherbondy *et al.* 2005; McWalter *et al.* 2005; Chen *et al.* 2011).

1.4.3. TRATORNOS MÚSCULOESQUELÉTICOS ASOCIADOS AL USO DE ORDENADOR

En los últimos años, el uso del ordenador y de otros dispositivos electrónicos inteligentes ha ido creciendo de forma exponencial, tanto en el ámbito laboral y educativo como en el de ocio y de entretenimiento. Todo ello debido al amplio abanico de ventajas que ofrecen.

En España, según una investigación del Instituto Nacional de Estadística (INE 2015), en el año 2014, un 75,4% de hombres y un 71,3% de mujeres de 16 a 74 años utilizaban el ordenador diariamente. En los niños de 10 a 15 años el uso del ordenador es más elevado, con un 93,8%. A día de hoy, la mayoría de personas tienen un



ordenador propio y un 74,8% de los hogares españoles dispone de, al menos, un ordenador (INE 2014).

Por lo tanto, al uso profesional del ordenador hay que adicionarle el particular. Según un estudio de la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU 2014), el español dedica 17 horas semanales al uso del ordenador y del móvil en el trabajo y 22 horas fuera de la jornada laboral, lo que se traduce en 39 horas semanales utilizando estos dispositivos electrónicos.

La prevalencia de TME en usuarios de ordenador está ampliamente documentada, siendo hasta del 40-80%, según las series (Robertson *et al.* 2016; Andersen *et al.* 2011; Schlossberg *et al.* 2004; Zapata *et al.* 2006). El amplio uso en las últimas décadas de las tecnologías de información y comunicación (TICs) para uso profesional y/o doméstico, alcanzando a nivel laboral más de la mitad de la población según Eurostat (2017), ha generado un incremento en dicha sintomatología localizada fundamentalmente en el miembro superior. Ha recibido diversos nombres como el lesión por esfuerzo repetitivo, síndrome de sobreuso, trastorno traumático acumulativo incluso síndrome del ratón, pero parece que a modo simplificador el concepto de molestias de miembro superior, cuello y hombro, en inglés *complaints of the arm, neck, or shoulder* (CANS) es el más apropiado en la actualidad. Éste, incluye tendinitis, tenosinovitis, epicondilitis, síndrome del túnel carpiano y otras. Los síntomas se caracterizan por dolor, rigidez, pérdida de fuerza muscular, parestesias, torpeza, pérdida de coordinación, cambios en el color de la piel, diferencias de temperatura y fatiga.

Los factores de riesgo desde el punto de vista ergonómico en trabajadores que hacen uso de las TICs, incluyen la posición fija frente al monitor como usuario de Pantallas de Visualización de Datos (PVD), requiriendo una contracción muscular estática mantenida de distintos grupos musculares, fundamentalmente de la espalda y cuello; posiciones articulares subóptimas, no neutras, altos requerimientos de precisión en los movimientos para la consecución de objetivos, presión temporal, factores ambientales adversos (mala iluminación, temperatura o insonorización, interrupciones, etc), movimientos repetidos mantenidos de un mismo grupo osteomuscular, ocasionando finalmente fatiga, sobrecarga, dolor y por último lesión (Franssen *et al.* 2013). Se entiende por movimientos repetitivos a un grupo de movimientos continuos mantenidos durante el trabajo, que implica al mismo conjunto

osteomuscular. Según Silverstein *et al.* (1986), se considera repetitividad, cuando la duración del ciclo de trabajo es menor de 30 segundos, y donde cada ciclo de trabajo el patrón de fuerzas y las características espaciales son muy similares, sobretodo cuello / hombro y codo / muñeca.

El tipo y severidad del TME va a verse relacionado con todos los elementos que intervienen en la interacción humano-computadora en el puesto de trabajo. Así, la postura adoptada al utilizar ordenadores y PVD va a contribuir al desarrollo de TME a consecuencia de la presión sobre nervios en áreas de presión, tensión nerviosa incrementada y empleo de músculos al mismo tiempo que se encuentran contraídos (Mackinnon *et al.* 1997). El uso del ratón implica extensión de muñeca, desviación ulnar y otro tipo de posiciones articulares no neutras como flexión prolongada unilateral de hombro, abducción y rotación externa ocasionando dolor o disconfor (de Krom *et al.* 1992; Karlqvist *et al.* 1994; Bergqvist *et al.* 1995; Cook *et al.* 2000) y un mecanismo importante es el incremento de presión a nivel del túnel carpiano de estructuras vasculares, nerviosas y tendinosas (Weiss *et al.* 1995; Werner *et al.* 1997).

Además de la postura, el esfuerzo ejercido con los dedos también afecta a la presión del túnel carpiano (Rempel *et al.* 1997), así como la intensidad o el periodo de tiempo de uso (Karlqvist *et al.* 1994; Punnett *et al.* 1997; Cook *et al.* 2000).

Por ello, la configuración de la estación de trabajo, independientemente de las tareas a realizar, ejerce una influencia en dicha problemática, no sólo el adecuado posicionamiento del teclado y ratón u otros dispositivos de entrada (Franzblau *et al.* 1993; Karlqvist y Peper 1996 y 1997, Harvey *et al.* 1997), sino también una correcta altura de la mesa, un asiento ergonómico con refuerzo lumbar y reposabrazos (Damann *et al.* 1995; Paul *et al.* 1996).

Es obvio que toda mejora en la interacciones humano computador (IHC) va a servir de prevención o mejora en la sintomatología asociada, siendo numerosos estudios los que así lo reflejan (Kofler *et al.* 2002; Nielen 2000; Baydur *et al.* 2016; Goodman *et al.* 2012; Darragh *et al.* 2008; Rodrigues *et al.* 2014). Por ello, una mejora en la precisión y en la adecuación ergonómica de los elementos que constituyen una estación de trabajo como la de un patólogo, será recomendable para el diseño de estos puestos de trabajo o *cockpits* (Krupinsky 2009). En este sentido, la gran mayoría



de las descripciones de IHC han basado su diseño en leyes como la que a continuación se describe.

1.5. LEY DE FITTS

1.5.1. FUNDAMENTO

La ley de Fitts es un modelo de conducta humana psicomotriz desarrollado en 1954 que se basa en el tiempo y la distancia, permitiendo predecir el movimiento humano dirigido. Parece intuitivo que el tiempo en realizar un movimiento se vea afectado por la distancia recorrida y la precisión por el tamaño del objetivo al que se está moviendo. Fitts descubrió que el tiempo en realizar un movimiento era una función logarítmica de la distancia cuando el tamaño del objetivo es constante y que el tiempo en realizar un movimiento era también una función logarítmica del tamaño del objetivo cuando la distancia permanece constante (Fitts 1954).

Dicha ley puede aplicarse en las interacciones persona-ordenador (IPO) o interfaz humano-computadora (IHC) de dos formas: como un modelo de predicción o como un método para deducir el rendimiento. En el primer caso es posible utilizar la ley de Fitts para predecir el tiempo necesario por el usuario para mover, por ejemplo, el cursor hacia un botón y hacer clic en él. Igualmente, se pueden evaluar tareas más complejas de interacción, mediante integración de resultados. La segunda aplicación es la de comparar y evaluar nuevos dispositivos externos señaladores, comúnmente denominados, ratones. En lugar de predecir el tiempo de movimiento, estudian como diferentes condiciones pueden afectar al rendimiento. Esta ley tiene que ver mucho con la ergonomía por medir aspectos como precisión y eficacia. Si bien Fitts únicamente publicó dos artículos, centenares de estudios fueron publicados más tarde en relación a las IPOs o IHCs. El primer artículo al respecto, de Card *et al.* (1978) utilizó por primera vez la ley de Fitts para comparar dispositivos de entrada, entre ellos el recientemente inventado ratón, resultando éste el mejor posicionado en dicho estudio, y siendo este trabajo un factor importante en la introducción comercial del ratón por Xerox a principio de los años 80.

Desde el advenimiento de las interfaces gráficas de usuario (del inglés GUI, *graphical user interface*), la ley de Fitts ha tenido un papel fundamental en el desarrollo de las tareas de posicionamiento del cursor en la pantalla.

La hipótesis de Fitts se basaba en que la información durante las tareas motoras se transmite a través del canal sensitivo-motor humano. Sin embargo, la



capacidad para transmitir la información por dicho canal es limitada y, para una extremidad o grupo muscular y su comportamiento motor, el tiempo para realizar una tarea es proporcional a la cantidad de información en bits que se requieren para el control u organización de cada movimiento. Dicha cantidad, es conocida como índice de dificultad (ID).

Matemáticamente, la ley de Fitts ha sido formulada de varias maneras. Una forma común es la formulación de Shannon, propuesta por Scott MacKenzie (1989), y llamada así por su semejanza con el teorema de Shannon para el movimiento sobre una única dimensión:

$$MT = a + b \log_2(A/W + 1)$$

Donde:

MT (*movement time*, tiempo del movimiento) es el tiempo medio necesario para completar el movimiento, **a** y **b** son constantes empíricas, y se determinan experimentalmente mediante un análisis de regresión lineal, **A** (amplitud del movimiento) es la distancia desde el punto inicial hasta el centro del objetivo y **W** es la anchura (*width* en inglés) del objetivo medida sobre el eje del movimiento.

Se puede definir también que:

$$ID = \log_2(A/W + 1)$$

A partir de la ecuación inicial, vemos un compromiso velocidad-precisión relacionado con el acto de apuntar, donde los objetivos que son más pequeños o están más lejos necesitan más tiempo para ser alcanzados (figura 10).

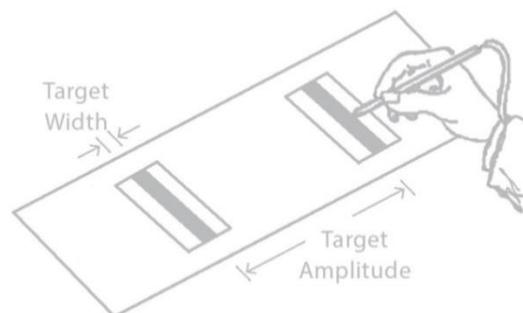


Figura 10. Modelo básico de la ley de Fitts. Adaptado del trabajo de Fitts (1954).

Finalmente, tenemos el rendimiento o *throughput*, **TP**, con el que se estandarizarían las investigaciones y que viene expresado por la ecuación:

$$\mathbf{TP = ID/MT}$$

1.5.2. APLICACIÓN

La ley de Fitts ha sido aplicada en numerosas ocasiones para estudios tan dispares como el desarrollo psicomotor en la infancia (Kerr 1975), la actividad psicomotriz asociada al consumo de tóxicos, como el alcohol (York *et al.* 1988) o el tabaco (Marzilli *et al.* 2000), la respuesta motora en trastornos neurológicos como la parálisis cerebral (Gump *et al.* 2002), trastornos neurodegenerativos, como la enfermedad de Parkinson (Weiss *et al.* 1996), la enfermedad de Huntington (McLennan *et al.* 2000) o psiquiátricos como en la esquizofrenia (Kamahan *et al.* 1997). También se ha aplicado la ley de Fitts para la optimización de recursos (Francis *et al.* 2006; Hoffmann *et al.* 2015) y, como no, para la mejora de interfaces gráficas y para comparar la precisión de distintos dispositivos de entrada (Arnaut y Greenstein 1990; Radwin *et al.* 1990; Rogers *et al.* 2005; Brown *et al.* 2007; Quemelo *et al.* 2013; Feathers *et al.* 2015), siendo un estándar ISO (9241-9) y un método recomendado para dicho fin.



1.6. ELECTROMIOGRAFÍA

1.6.1. DEFINICIÓN DE ELECTROMIOGRAFÍA

La electromiografía (EMG) es una técnica electrofisiológica que nos permite obtener de forma relativamente sencilla información sobre la actividad neuromuscular, ayudándonos a comprender el comportamiento motor intencional y automático (Cavalcanti *et al.* 2011; Ahmad *et al.* 2012), constituyendo una extensión de la exploración física y una prueba de integridad del sistema motor de modo que permite incluso la evaluación de la actividad muscular cuando hay una lesión de origen muscular y/o nerviosa.

Tiene como finalidad principal conocer la activación muscular, la cuál implica una difusión iónica de concentración proporcional al campo eléctrico que genera en la fibra muscular y la consecuente respuesta mecánica debida a la contracción muscular. A través de parámetros de amplitud y frecuencia, nos informa de si el músculo está activo, el grado de dicha actividad y el tipo de coordinación intermuscular que presenta. Igualmente, se puede usar para analizar la fatiga muscular (Massó *et al.* 2010).

El electromiograma puede realizarse directamente mediante la inserción de electrodos de aguja en el tejido muscular esquelético o bien indirectamente, mediante electromiografía de superficie (EMGS). Ésta es una técnica no invasiva para medir la actividad muscular y emplea electrodos de superficie de 10 mm de diámetro colocados en la piel suprayacente al área muscular a estudio, con una banda de frecuencia entre 15 y 400 Hz. La EMGS puede registrar actividad muscular voluntaria, involuntaria o por estimulación externa.

Las ventajas que ofrece la electromiografía de superficie incluyen el ser incruenta, permitiendo analizar simultáneamente distintos músculos en movimiento y en acciones de duración ilimitada. Tampoco presenta restricciones en cuanto al tamaño de la superficie a estudiar ni al tiempo de registro. Esto hace que sea una técnica muy popular entre los científicos del deporte, pudiendo obtener información relativa a la activación muscular, a la contracción, al fenómeno de fatiga muscular (Singh *et al.* 2007) y al reclutamiento de unidades motoras (Cavalcanti *et al.* 2011), a través del registro de los potenciales de acción muscular.

1.6.2. APLICACIONES DE LA ELECTROMIOGRAFÍA DE SUPERFICIE

Las utilidades o aplicaciones de la electromiografía de superficie son las siguientes:

El análisis de un gesto o un movimiento para definir el grado de participación de un determinado músculo o de varios ante una tarea determinada, incluso la coordinación entre la musculatura de una extremidad y su contralateral, posibilitando así valoraciones diagnósticas y postquirúrgicas (Frigo y Crenna 2009; Bonell *et al.* 2007). Permite identificar la existencia o no de coactivación, relacionada con situaciones de inmadurez del sistema neuromuscular, algo importante en la valoración de la calidad del movimiento.

En el campo de la medicina del deporte, medicina laboral y ergonomía, reviste especial interés la evaluación adicional de la fatiga muscular en actividades prolongadas con modificaciones observables en los trazados electromiográficos (Singh *et al.* 2007).

La EMGS es un método muy útil en el estudio inicial y seguimiento de los procesos de recuperación, valorando el grado de activación muscular, la coordinación muscular o la relación agonista-antagonista. Facilita las técnicas de “miofeedback” y permite trabajar la propiocepción y la reeducación postural al informar al paciente y al terapeuta sobre los momentos de activación de los músculos a tratar (Bolek 2006).

Esta técnica facilita tareas como la de definir la participación muscular en un determinado gesto deportivo (Monfort *et al.* 2009) u observar la activación de la musculatura de un segmento en respuesta a la movilización de otros segmentos y así mejorar la eficacia de dicho gesto en los procesos de entrenamiento. En especial, se puede mejorar la ejecución de una tarea en términos de activación muscular y/o en términos de fatiga muscular. Hay que tener presente que la EMG no aporta parámetros de fuerza muscular, ya que la señal eléctrica detectada está en función de la concentración iónica muscular, aunque sí es un indicador del esfuerzo muscular realizado en una determinada acción.

La EMGS es una metodología habitual para estudios de ergonomía y de comparación de dispositivos de entrada, algunos de ellos en el contexto de minusvalías, otros para la implementación de nuevos sistemas (Ren *et al.* 2010;



Pérez-Maldonado *et al.* 2010; Choi *et al.* 2013; Williams *et al.* 2015) o para la configuración de las estaciones de trabajo (Lintula *et al.* 2001; Peper *et al.* 2003), como en el campo de la anatomía patológica, entre estaciones de trabajo y microscopio convencional e implementaciones ergonómicas (figura 11). (Krezcy *et al.* 1999; Kofler *et al.* 2002).

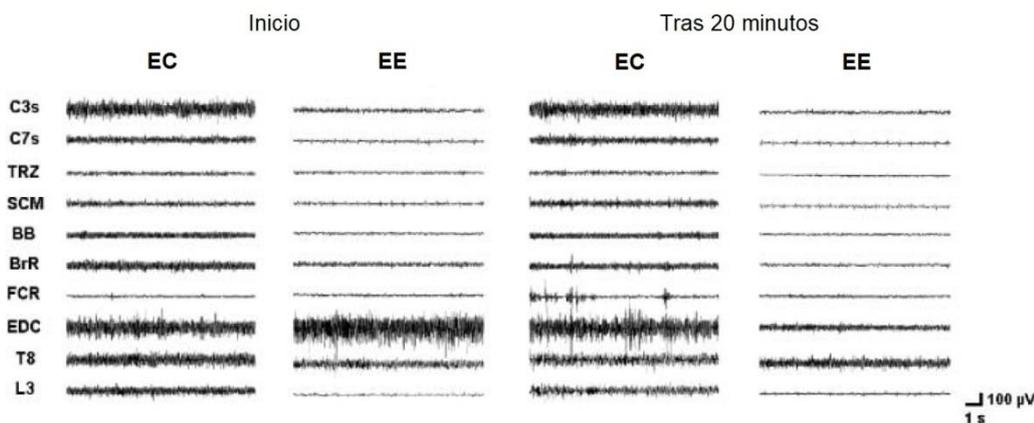


Figura 11. Registro electromiográfico en estación de microscopía convencional (EC) frente a estación ergonómica (EE), según Kofler *et al.* (2002).

1.6.3. METODOLOGÍA DE LA ELECTROMIOGRAFÍA DE SUPERFICIE

Para asegurar un registro de los datos eficaz y fiable, se deben tener en cuenta una serie de pautas para el registro electromiográfico de superficie:

1.6.3.1. FASE PREVIA

1. Información. Es preciso informar al individuo sobre los objetivos, la utilidad y posibles aplicaciones del registro, así como del procedimiento a seguir durante el mismo, siendo igualmente necesario obtener su consentimiento informado firmado. Conviene recoger información sobre hábitos tóxicos, ingesta de medicamentos, existencia de patología neuromuscular, musculoesquelética o cualquier otra que pueda afectar la función muscular. También será necesario obtener parámetros antropométricos como el peso, la talla y el Índice de masa corporal (IMC).

2. Preparación de la piel. Hay que reducir la impedancia existente con el fin de obtener una señal eléctrica de calidad. Para ello, es aconsejable eliminar el sudor y la capa de piel seca mediante una limpieza con alcohol.

3. Colocación de los electrodos. Según el proyecto SENIAM (*Surface Electromyography for the Non-invasive Assessment of Muscles*), acción concertada perteneciente al programa europeo de salud biomédica e investigación de la Unión Europea, la posición adecuada es en la línea media del vientre muscular, entre la unión miotendinosa y el punto motor, separados por una distancia de uno o dos centímetros (SENIAM 1999). Es fundamental mantener siempre la misma localización en los diferentes individuos y en los diferentes registros practicados a un mismo individuo, dado que la señal registrada varía en función de la zona del músculo sobre la que colocamos los electrodos. Asimismo, deben evitarse zonas adyacentes a otros músculos para que no contaminen la señal que se pretende registrar (fenómeno denominado *cross-talk*). Adicionalmente, hay que colocar un electrodo de referencia lejos de la zona de registro y en un tejido eléctricamente neutro, escogiendo zonas próximas a un plano óseo como la diáfisis tibial o la apófisis estiloides cubital.

1.6.3.2. FASE DE REGISTRO

1. Obtención de la contracción voluntaria máxima (CVM). Es necesaria para la normalización de los trazados obtenidos respecto a la actividad máxima del músculo para un determinado individuo. De esta forma, nos permite comparar diferentes registros de sujetos distintos.

2. Registro. Es la fase de adquisición de la señal electromiográfica correspondiente a la acción o gesto a estudiar.

La actividad mioeléctrica aparece en la superficie de la piel a modo de potenciales eléctricos de escaso ancho de banda (de 15-20 a 400-500 Hz) y pequeña amplitud, desde algunos microvoltios a unos pocos milivoltios pico. Por esto, los sistemas de detección deben ser extremadamente sensibles.



1.6.3.3. FASE DE PROCESADO

Se debe preparar la señal obtenida directamente (señal bruta o *raw signal*) con el fin de que sea fácilmente observable y analizable. El tipo de procesado dependerá del tipo de análisis que nos interese hacer del trazado. Esencialmente se realizan dos tipos de análisis: el de amplitudes y el de frecuencias. El análisis de amplitudes pretende convertir una señal electromiográfica de valores alternos positivos y negativos y de elevada variabilidad en un gráfico que se aproxime al nivel de activación muscular. Para ello, se realiza en primer lugar el filtrado de la señal eliminando potenciales de amplitudes y/o frecuencias fuera del espectro habitual y que suelen corresponder a artefactos. A continuación, se lleva a cabo la rectificación de la señal, tomando el valor absoluto de la señal, sin tener en cuenta el signo. El siguiente paso es la aplicación de un algoritmo de suavizado (*smoothing*) con el objetivo de obtener una imagen más próxima a la activación muscular y más fácil de observar. Bonell *et al.* (2007) señalan como mejor estimador de la potencia de la señal el RMS (*root mean square* o media cuadrática), cuando la distribución de la señal es modelada como Gaussiana, indicando la cantidad de unidades motoras activas; mientras que el VMA (valor medio absoluto) estima mejor si la distribución se aproxima a la Laplaciana. Finalmente, se normalizan los datos dividiendo los valores numéricos de amplitud resultantes del algoritmo de suavizado por el valor de la contracción voluntaria máxima, obteniendo valores en porcentaje relativos a este último.

En el análisis de frecuencias, tras el filtrado, se aplica la *Fast Fourier Transform* (FFT) o sistema de descomposición de la señal, con el fin de determinar su espectro de frecuencias, que informa de las frecuencias que conforman esta señal y de la intensidad con que participan. La FFT es un procesado ideal para acciones estáticas, pues supone que el espectro de frecuencias no varía en el tiempo, a diferencia de las acciones dinámicas donde si se ve modificado.

1.6.4. LIMITACIONES DE LA ELECTROMIOGRAFÍA DE SUPERFICIE

Las ventajas de los electrodos de superficie sobre los intramusculares incluyen el permitir un registro global del músculo sin límite de tiempo de registro ni de superficie estudiada y no son invasivos. Sin embargo presentan como inconvenientes

la imposibilidad del estudio de la musculatura profunda, la obtención de trazados con un espectro más bajo de frecuencias y la necesidad de una correcta preparación de la piel, con gran susceptibilidad a la introducción de artefactos en la imagen (Massó *et al.* 2010, Avellaneda 2013). Por su parte, los electrodos intramusculares permiten un registro más localizado del músculo, con independencia de su profundidad y el grado de preparación de la piel, captando un espectro de frecuencias más alto, pero son invasivos. La EMGS nos permite, por las características de los electrodos utilizados, estudiar distintos músculos a la vez, sin que ello suponga una molestia para el individuo, con la ventaja que también supone el hecho de que la mayoría de equipos de EMGS cuentan con la capacidad de entrada de distintos canales simultáneamente (correspondientes a músculos distintos). También nos permite una mayor reproducibilidad de los trazados obtenidos en diferentes registros.

Por otro lado, el registro adquirido es más representativo del músculo en conjunto y no de una zona determinada, lo que supone una limitación en aquellos casos en que interesa este tipo de examen en concreto. Otra limitación es el hecho de que, en algunas acciones dinámicas, puede existir desplazamiento relativo entre músculo y electrodos que provoca modificación en el volumen del músculo analizado y afecta a la intensidad de la señal registrada. Por ello, las mejores condiciones para la EMGS, son las de un trabajo isométrico. Por último, cuando lo que interesa es describir y/o comparar un patrón motor, se aconseja sobre todo el estudio de acciones que sean cíclicas, lo que permite comparar periodos idénticos de diferentes ciclos.



1.7. MÉTODO NASA TASK LOAD INDEX

1.7.1. FUNDAMENTO

La carga de trabajo constituye un aspecto cada vez más importante a considerar en ergonomía, a medida que se introduce más tecnología en los entornos laborales, imponiendo mayores demandas, no sólo físicas sino también cognitivas al trabajador (De Arquer y Nogareda 2000).

El interés por el estudio de la carga mental de trabajo es relativamente reciente si lo comparamos con el análisis de la carga física. El desarrollo tecnológico ha incrementado el número de puestos de trabajo que demandan una mayor proporción de habilidades cognitivas que físicas. Por ello, cada vez existe un mayor número de puestos de trabajo que solicitan del trabajador una atención a múltiples fuentes de información, a veces simultáneas, generándose así fuertes sentimientos de carga en el trabajador. Esto hace que actualmente, la evaluación de la carga mental sea un aspecto central en la investigación y desarrollo de sistemas de trabajo que permitan obtener niveles más altos de confort, eficacia, satisfacción, y seguridad y salud en el trabajo, conllevando un mayor rendimiento. Es habitual que los conceptos de carga mental y estrés se confundan, ya que ambos describen fenómenos similares (González *et al.* 2007). Mientras que para unos autores, como por ejemplo Wickens (1984), el estrés sería una respuesta de afrontamiento en tareas con demandas cognitivas elevadas, otros conciben el estrés como uno de los componentes de la carga mental (Hart y Staveland 1988). Esta confusión tiene su origen en la definición de ambos términos. Así, estrés y carga mental hacen referencia a la relación entre las demandas ambientales y los recursos de que dispone el sujeto para hacerles frente.

La carga mental se define como la diferencia entre la capacidad del individuo y las demandas de la tarea. En este sentido, la carga mental se produce cuando las demandas de la tarea exceden la capacidad del sujeto. Así pues, la carga no es una característica inherente a la tarea si no que es el resultado de la interacción entre los requerimientos de la tarea, las circunstancias bajo las que se desarrolla y las capacidades, conductas y percepciones del trabajador (de Arquer y Nogareda 2010). Cuando esto ocurre, hablaremos de carga mental como un costo en el que incurre el trabajador a la hora de realizar una determinada tarea, costo, que desde el punto de vista del trabajo mental, tiene que ver con los aspectos cognitivos o de procesamiento.

En la definición de carga mental se puede hablar desde dos perspectivas (Ferrer y Dalmau 2004, Hacker 1998): una entendida como exigencias externas de la tarea, a las que tiene que enfrentarse la persona; otra, que depende de la interacción entre las exigencias de la tarea y capacidades o recursos de la persona (Hancock y Chignell 1986; Welford 1986).

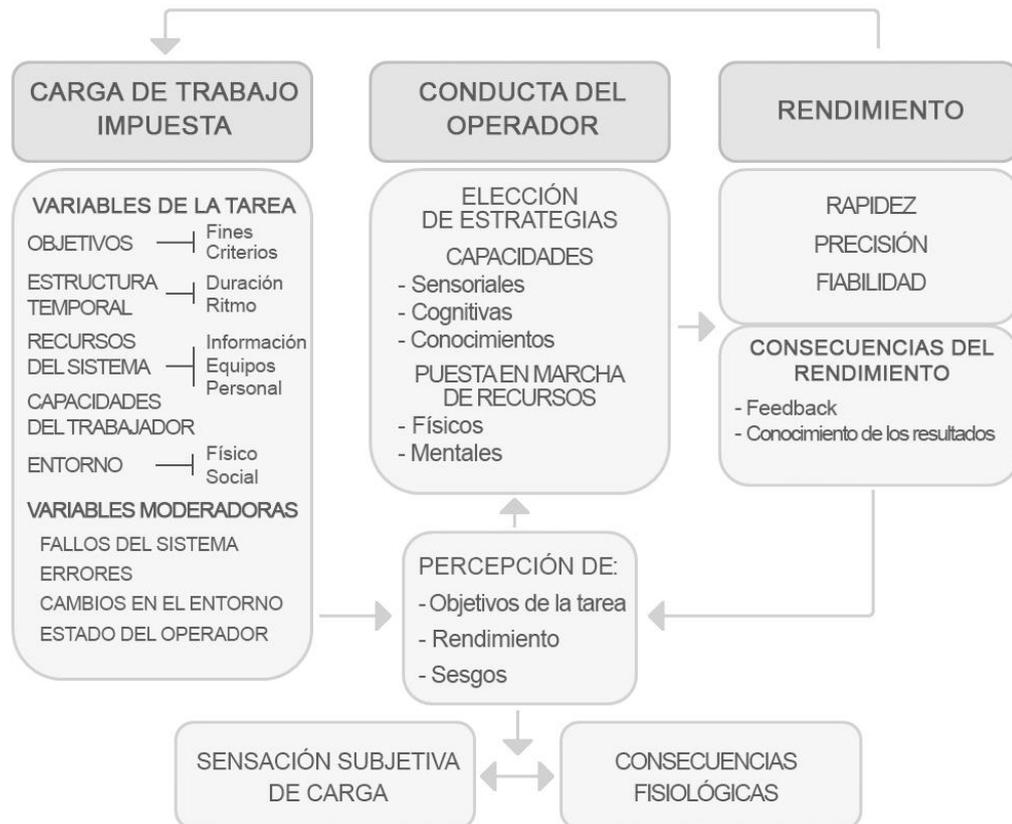


Figura 12. Marco teórico de la carga mental (Hart y Staveland 1988).

Existe un acuerdo general (Rubio *et al.* 2001) en admitir que la carga de trabajo es un concepto multidimensional, y que por lo tanto está determinado por diferentes factores o dimensiones (O'Donnell y Eggemeier 1986; Gopher y Donchin 1986). Sin embargo, no hay un acuerdo en relación al número y al tipo de dimensiones que determinan dicha carga. Hart *et al.*, en 1981, propusieron las diez dimensiones siguientes:



- 1 - Carga global: La carga total asociada a la tarea, considerando todas las fuentes y componentes.
- 2 - Dificultad de la tarea: Si la tarea es fácil o muy demandante, simple o compleja.
- 3 - Presión temporal: Presión debida a los aspectos temporales de la tarea.
- 4 - Rendimiento: En qué medida el sujeto se siente satisfecho con su nivel de rendimiento.
- 5 - Mental/Sensorial: Cantidad de actividad mental y/o perceptiva que requiere la tarea (p.e., pensar, decidir, calcular, recordar, mirar, buscar, etc.).
- 6 - Esfuerzo físico: Cantidad de actividad física que requiere la tarea (por ejemplo: pulsar, mover, empujar, tirar, girar, controlar, activar, etc.).
- 7 - Frustración: En qué medida el sujeto se siente inseguro, irritado, etc. cuando realiza la tarea.
- 8 - Nivel de estrés: En qué medida el sujeto se siente ansioso, preocupado, tenso, o calmado, tranquilo, relajado, cuando realiza la tarea.
- 9 - Fatiga: En qué medida el sujeto se siente cansado, aburrido, agotado, cuando realiza la tarea.
- 10 - Tipo de actividad: Hasta qué punto la tarea requiere actuar en función de rutinas muy aprendidas, o implica toma de decisiones y solución de problemas.

Posteriormente, Hart y Staveland (1988) redujeron estas dimensiones a las seis siguientes: demanda mental, demanda física, demanda temporal, ejecución, esfuerzo, y nivel de frustración. Para estos autores, la carga mental es un constructo hipotético que representa el coste que debe asumir una persona para alcanzar un determinado rendimiento (Diaz *et al.* 2010). Definen la carga centrándose en la persona y no tanto en la tarea, como resultado de la interacción entre los requisitos de la tarea, las circunstancias bajo las que ésta es ejecutada y las habilidades, conductas y percepciones del sujeto. Es el primer modelo que se relaciona con un método específico de evaluación de la carga mental: el *National Aeronautics and Space*

Administration Task Load Index (NASA-TLX), en donde las variables que participan son:

- Carga impuesta: Hace referencia a la situación a la que se enfrenta la persona. Las demandas de una tarea vienen determinadas por sus objetivos, duración y su estructura, y por los recursos humanos y no humanos provistos por el sistema. Otros factores como los fallos del sistema, los errores del operador, etc., pueden influir y modificar estas demandas.

- Conducta del operador: Los trabajadores se adaptan a las demandas de la tarea y su conducta refleja sus percepciones acerca de lo que se espera de ellos y las estrategias, esfuerzos y recursos de los que dispone para cumplir los objetivos de la tarea.

- Ejecución/rendimiento: El rendimiento es el resultado de la interacción entre las acciones del sujeto y las capacidades, limitaciones y características del sistema. La retroalimentación proporciona información sobre el éxito en su tarea y le permite adoptar diferentes estrategias para corregir las discrepancias.

- Experiencia subjetiva de carga y consecuencias fisiológicas: Reflejan el efecto en el sujeto de la ejecución de una tarea. Esta experiencia se encuentra influenciada por sus preconcepciones en torno a la tarea y por otros sesgos. Para Hart y Staveland (1988) la experiencia subjetiva es importante ya que modifica el comportamiento al afectar a su rendimiento y su respuesta fisiológica ante la situación. Si consideran excesiva la carga, pueden adoptar determinadas estrategias para hacer frente a dicha situación (modificar su conducta, abandonar la realización de tareas...).

1.7.2. APLICACIÓN DE NASA-TLX

El método NASA-TLX no se limita a evaluar la experiencia subjetiva de la persona respecto a los efectos que las fuentes de carga tienen en ella, sino que pide a la persona que dé su valoración subjetiva acerca de las fuentes de carga.



La aplicación de esta técnica requiere dos fases: una de obtención de la importancia inicial que tiene cada dimensión de carga mental para cada individuo o ponderación, y otra de valoración (De Arquer y Nogareda 2000).

Fase 1. Obtención de pesos iniciales: El objetivo de esta fase es la obtención de la importancia que a priori da cada individuo a cada una de las seis dimensiones como fuente potencial de carga mental. Esta fase es previa a la realización de la tarea y permite obtener los valores por los que se van a ponderar las estimaciones de carga al calcular el índice global de carga mental de una determinada tarea o combinación de tareas. Para la recogida de los datos necesarios se utiliza el procedimiento de comparaciones binarias, de manera que: en primer lugar se establecen las 15 comparaciones binarias de las seis dimensiones, en las que el sujeto debe elegir, de cada par, la que percibe como mayor fuente de carga. Para cada dimensión se obtiene un peso que viene dado por el número de veces que ésta haya sido seleccionada en las comparaciones binarias. Este peso puede variar entre 0 (la dimensión no ha sido elegida en ninguna de las comparaciones) y 5 (la dimensión ha sido elegida en todas las comparaciones en las que aparecía).

Fase 2. Valoración: Una vez realizada la tarea o tareas de interés, el sujeto tiene que estimar, en una escala de 0 a 100, dividida en intervalos de 5 unidades, la carga mental de la tarea debida a cada una de las seis dimensiones. Con los datos obtenidos en las dos fases se puede calcular un índice global de la carga mental de la tarea aplicando la siguiente fórmula:

$$IC = \sum p_i X_i / 15$$

Donde:

IC es Índice de Carga, p_i es el peso obtenido para cada dimensión en la fase de ponderación, y X_i es la puntuación obtenida por la dimensión en la fase de valoración.

La validez de la técnica ha sido probada en numerosas investigaciones, demostrando resultados más favorables que otras técnicas como el SWAT (*Subjective Workload Assessment Technique*), desarrollada por la sección de carga mental y ergonomía del *Air Force Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory* (Reid *et al.* 1989) o la Escala de Cooper Harper (Cooper y Harper, 1969), técnica subjetiva de evaluación de la carga mental del trabajo más antigua y más estudiada (González *et*

al. 2005), lo que unido a su facilidad de uso hace que sea actualmente el instrumento de evaluación de carga mental más ampliamente utilizado (Cañas y Waerns 2001). Existe extensa aplicación de dicho método en el ámbito médico (Charabati *et al.* 2009; Yurko *et al.* 2010; Manzey *et al.* 2011; Wang *et al.* 2013; Drews *et al.* 2014; Erol Barkana *et al.* 2014), considerando la interacción humano computadora (IHC). Tan sólo se ha encontrado un artículo en relación al uso de dispositivos de entrada en patología digital (Molin *et al.* 2015).

Sin embargo, parece que la técnica TLX distingue un número excesivo de dimensiones de carga mental y algunos autores opinan que la fase de ponderación resulta innecesaria (Nygren 1991; Dickinson *et al.* 1993; López *et al.* 2008). Moroney *et al.* 1995 y Byers *et al.* 1989 han señalado un nivel de correlación de 0,94 y 0,98, entre los valores ponderados y no ponderados del NASA-TLX, respectivamente.

Como procedimiento subjetivo, NASA-TLX tiene las siguientes ventajas e inconvenientes:

- | | |
|-----------------------|--|
| Ventajas | <ol style="list-style-type: none"> 1. Elevada Fiabilidad. 2. Alto grado de validez concurrente con medidas de rendimiento (Casali <i>et al.</i> 1983; Gopher y Braune, 1984; Wierwille <i>et al.</i> 1985). 3. Escasos requisitos de implementación. 4. Buena aceptación por parte de los participantes. 5. Grado de intrusión o de interferencia con la tarea prácticamente nulo (Wierwille y Eggemeier, 1993). |
| Inconvenientes | <ol style="list-style-type: none"> 1. Posibilidad de confusión entre la carga mental y la carga física. 2. Poco sensible a las exigencias de la tarea (Yeh, 1988). 3. Discordancias entre la evaluación subjetiva de la carga mental de una tarea y la obtenida utilizando otros procedimientos. 4. Escaso poder diagnóstico de los recursos atencionales responsables de la carga mental de una tarea. 5. Gran dependencia de la memoria a corto plazo del operador, se deben aplicar inmediatamente tras la tarea (Tsang 1994). |



1.8. ESTUDIOS DE DISPOSITIVOS DE ENTRADA.

1.8.1. ESTUDIOS DE DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y PATOLOGÍA DIGITAL.

Son muy pocos los estudios llevados a cabo en relación dispositivos de entrada para el uso de la imagen digital en patología y no existe aún un acuerdo en relación a cuál es el controlador óptimo para dicho fin (Al Janabi *et al.* 2012; Thortenson *et al.* 2014, García-Rojo 2016). En términos generales, el dispositivo de entrada es un asunto de preferencia personal y las alternativas al teclado con combinación de comandos o el ratón convencional, lo constituyen dispositivos como *trackballs* u otros similares, incluso existiendo opciones a caballo entre los sistemas propios de un microscopio pero con conversión digital, como el Ergo Controller o Egopointer. La elección de un dispositivo u otro suele estar relacionada con el confort y las tareas a realizar (Krupinsky 2009).

Únicamente se plantean algunas alternativas al ratón convencional por parte de Wang (2012), Yagi (2012), Molin (2015) y Alcaraz *et al.* (2016 y 2018). Concretamente, Wang y colaboradores proponen un sistema de pantalla multitáctil que permite navegar a través de la imagen de un modo más intuitivo y natural que empleando un dispositivo de entrada convencional. Sin embargo, no estudian en su comparativa ningún aspecto ergonómico y se limitan a la comparación de visores de preparaciones con este sistema y con un ratón convencional, alcanzando únicamente como conclusión una mayor rapidez de movimiento con el sistema multitáctil, a la vez que posibilita simultaneizar el zoom y el movimiento de la imagen, acto que no es posible con el ratón.

Yagi y colaboradores, por su parte, se limitan a describir el uso del controlador PS3 de la videoconsola PlayStation (Sony) en un contexto de lograr mayor velocidad a la hora de visualizar y diagnosticar *whole slide images*, sin comparar con otros dispositivos ni entrando en consideraciones de ergonomía.

Molin y colaboradores realizan una comparativa entre el ratón convencional y otros dos dispositivos: un panel táctil (*touchpad*) y un dispositivo de navegación distinto (*6 degrees-of-freedom navigator*, 6DOF) y sí incluyen en su estudio una valoración de la carga mental de trabajo con el sistema NASA-TLX. En el estudio, el

objetivo es concluir el diagnóstico de una serie de casos y registrar tiempos, percepción y registro de la dicha carga de trabajo. Concluyen con una menor carga de trabajo, con resultados ponderados, del dispositivo 6DOF, seguido del ratón convencional, así como una valoración global mayor para este último, siendo el touchpad el peor valorado y no observando diferencias significativas en el tiempo de realización del ejercicio ni correlación entre NASA-TLX y tiempo.

Por último, y de manera preliminar, nuestro grupo estableció una comparativa entre 11 dispositivos distintos para el manejo de la imagen digital: teclado, ratón convencional, ratón vertical, tres distintos modelos de trackballs ergonómicamente distintos, un panel táctil, Rollermouse, Ergopointer, LeapMotion y un *gamepad*, así como el control a través de un sistema de reconocimiento de voz (Alcaraz *et al.* 2016c). Los resultados preliminares revelaron alternativas al ratón convencional, con grados de satisfacción similares o incluso superiores a éste y con niveles de precisión distintos basados en la Ley de Fitts, así como percepciones de carga mental específicas para cada dispositivo, aplicando el test NASA-TLX. Para la presente tesis doctoral hemos eliminado dos de dichos dispositivos (teclado y gamepad) por su mala configuración y comportamiento, y hemos incorporado otro (lápiz óptico), dejando a un lado el control por comandos de voz. Por otro lado, y de manera reciente, realizamos también una comparación de 3 sistemas de reconocimiento facial a través de *webcam* para el movimiento del cursor y de la imagen en patología digital (Alcaraz *et al.* 2018).

1.8.2. ESTUDIOS DE DISPOSITIVOS DE ENTRADA APLICANDO LA LEY DE FITTS.

Desde que Card *et al.* (1978) utilizaran por primera vez la ley de Fitts para comparar dispositivos de entrada, han sido numerosas las investigaciones al respecto (Epps 1986, Radwin 1990, Mackenzie *et al.* 1991, Accot *et al.* 1999, Brown *et al.* 2007, Feathers *et al.* 2013, Quemelo *et al.* 2013). Sin embargo, como describe Soukoreff y MacKenzie (2004), hay una elevada disparidad a la hora de aplicar la ley de Fitts de manera estandarizada y plantean una serie de recomendaciones para los investigadores que quieran aplicar la ley en IHC con el estándar ISO 9241-9 (*Requirements for non-keyboard input devices*) surgido en el 2000. Es por ello que los resultados son difícilmente comparables. Algunos estudios muestran una mayor



precisión del ratón convencional en relación a alternativas como el uso del teclado (Card *et al.* 1978) o algunos tipos de ratón vertical (Quemelo *et al.* 2013) y otros, sin embargo, ponen de manifiesto un mejor rendimiento de alternativas más ergonómicas (Feathers *et al.* 2013).

1.8.3. ESTUDIOS DE DISPOSITIVOS DE ENTRADA CON EL MÉTODO NASA-TLX.

Las primeras referencias de la aplicación del método NASA-TLX (Hart y Staveland 1988) para la valoración de la carga mental cuando se comparan distintos dispositivos de entrada corresponden a Hancock *et al.* (1996). Desde entonces han sido varios los estudios que se han encontrado al respecto (Stanton *et al.* 2013, Molin *et al.* 2015, Noah *et al.* 2017).

Hancock (1996), por ejemplo, encuentra una menor carga cuando utiliza un *trackball*, en comparación con el ratón convencional. Stanton (2013), por su parte, encuentra resultados similares al enfrentar un dispositivo similar (*trackball*) con una pantalla táctil y un *touchpad*. Molin y colaboradores (2015), como ya mencionamos previamente, encontraron en su estudio diferencias estadísticamente significativas entre los dispositivos, no así Noah *et al.* (2017), que no encontraron diferencias entre el ratón convencional y un *touchpad*.

1.8.4. ESTUDIOS DE DISPOSITIVOS DE ENTRADA CON ELECTROMIOGRAFÍA SUPERFICIAL.

Con la finalidad de encontrar un posicionamiento óptimo del ratón o incluso de buscar alternativas a éste, a consecuencia de los factores de riesgo ergonómicos ya mencionados, debidos a la carga muscular mantenida, posiciones no neutras y desviaciones extremas cubital, de muñeca y de pronación de antebrazo, son numerosos los trabajos al respecto para el registro de la actividad muscular mediante estudio electromiográfico de los grupos musculares de miembro superior (Harvey y Peper 1997, Karlqvist *et al.* 1998, Lintula *et al.* 2001, Kotani *et al.* 2003, Agarabi *et al.* 2004, Lee *et al.* 2007, Lee *et al.* 2008, Kumar *et al.* 2008, Houwink *et al.* 2009, Lin *et*

al. 2015). Los grupos musculares a estudio, fundamentados mayoritariamente en las recomendaciones de Perotto (1994) y Cram *et al.* (1998), incluyen el trapecio medio y deltoides para la espalda y hombro, bíceps y tríceps para la movilidad del brazo, extensores y flexores comunes de los dedos, extensor radial y cubital del carpo y pronador redondo para la articulación de la muñeca, así como el aductor del pulgar, abductor o extensor largo del pulgar y dorsales interóseos, entre otros, para la mano.

Los resultados, en general, objetivan de manera significativa una variabilidad entre dispositivos y entre distintos posicionamientos de los mismos, si bien no son estudios prospectivos que consideren investigar la mejoría en la sintomatología por su uso prolongado. Así, por ejemplo, Cook y Kothiyal (1998) exploraron la relación entre la posición del ratón convencional y la actividad muscular, encontrando que la actividad electromiográfica del deltoides anterior y medio se veía incrementada de manera significativa con posiciones extremas, en donde la abducción y flexión del hombro eran mayores, no observando cambios en a nivel de trapecio. Karlqvist *et al.* (1998) encontraron hallazgos similares, pero con cambios, no sólo a nivel deltoideo, sino también en trapecio, según la posición central o lateralizada del ratón (figura 13), al igual que Dennerlein *et al.* (2006). Onyebeke *et al.* (2014), que estudiaron la implementación de sistemas de apoyo de antebrazo y muñeca, registrando actividades musculares menores en las regiones deltoidea y de trapecio que sin dichos sistemas.

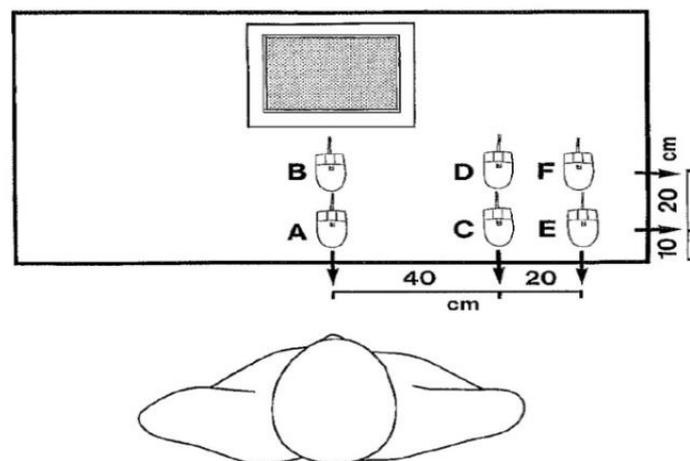


Figura 13. Estudio electromiográfico según posicionamiento del ratón (Karlqvist L *et al.* 1998).



Finalmente, hay autores que centran sus estudios electromiográficos en la comparación de distintos dispositivos de entrada, como Harvey y Peper (1997), que comparan un ratón convencional con un *trackball*; Fernström *et al.* (1997) que estudian el comportamiento de un dispositivo de entrada tipo *joystic* centrado en el teclado; Lin *et al.* (2015), que comparan 4 dispositivos de entrada: ratón convencional, *trackball*, *touchpad* y *rollermouse*; Kumar R *et al.* (2008), que comparan un *trackball* y un *touchpad*; otros como Gustafsson *et al.* (2003), Chen *et al.* (2003) o Houwink *et al.* (2009) buscan alternativas que reduzcan la pronación habitual del ratón convencional (figura 14); Kotani *et al.* (2003) incorporan una tableta gráfica, para su estudio. Por su parte, Oude Hengel *et al.* (2008) realizaron un estudio comparando distintos tamaños de ratón convencionales.

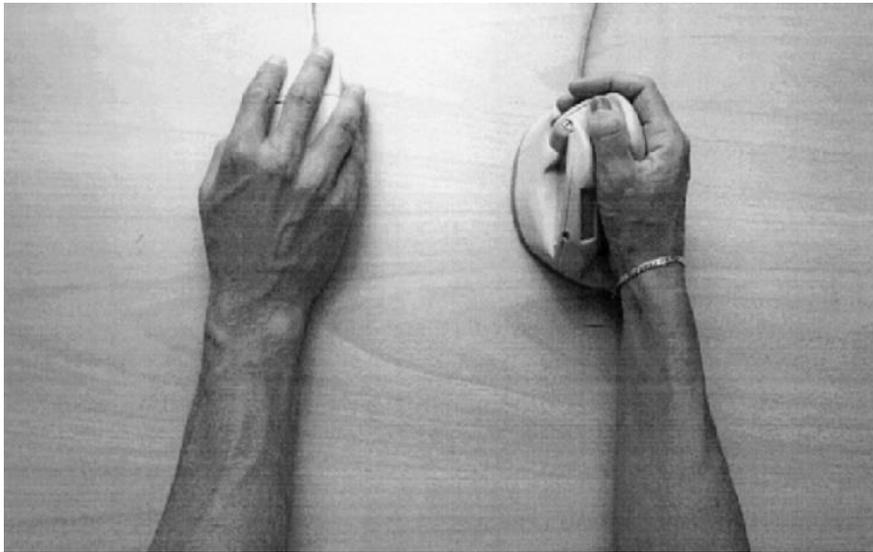


Figura 14. Posición de pronación con el ratón convencional (izquierda) frente a una posición neutra (derecha) (Gustafsson *et al.* 2003).

En el momento de la redacción de esta tesis, no se han encontrado publicaciones de patología digital que incluyan el empleo de electromiografía con el uso de estos dispositivos.

1.8.5. OTROS ESTUDIOS DE DISPOSITIVOS DE ENTRADA.

Existen otras herramientas que han sido utilizadas para la comparación de dispositivos de entrada, incluyendo gran variedad de cuestionarios subjetivos de valoración por parte de los sujetos a estudio. Igualmente, para la evaluación e identificación de secuencias de comportamiento correctas durante el empleo de dispositivos se han empleado también metodologías GOMS, en donde, para cada tarea se describe el objetivo a satisfacer (*goal*), el conjunto de operaciones (*operations*) que el sistema pone a disposición del usuario para la interacción, los métodos disponibles para llevar a cabo esas operaciones (*methods*) y por último, un conjunto de reglas de selección (*selection*) para determinar la alternativa más conveniente en cada caso (Ramkumar *et al.* 2017). Por otra parte, no son infrecuentes los estudios de electrogoniometría (Karlqvist *et al.* 1994, Gustafsson *et al.* 2003, Feathers *et al.* 2013, Hawi *et al.* 2014), donde es posible la medición de las posturas y los movimientos de las articulaciones, pudiéndose capturar de forma continua y así caracterizar la postura, la repetitividad y la velocidad de los movimientos (Hägg *et al.* 1997). También se han empleado sistemas de captura y análisis de movimiento (Onyebeke *et al.* 2014, Lin *et al.* 2015) e incluso opciones más invasivas como a través de la medición de la presión en el tunel carpiano (Schmid *et al.* 2015).



Tesis Doctoral. Manejo de la imagen digital en Anatomía Patológica.
Análisis comparativo de dispositivos de entrada.

2. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1. Justificación e hipótesis.

Los problemas musculoesqueléticos se presentan con una alta prevalencia en la población general y en particular en el colectivo de especialistas en Anatomía Patológica. La transformación de esta disciplina médica hacia la digitalización, o patología digital, supone dejar a un lado el microscopio óptico convencional y trabajar a diario con ordenadores y monitores de alta resolución. Sin embargo, trabajar con ordenadores a diario se ha visto igualmente asociado al desarrollo de problemas musculoesqueléticos. Ha sido descrita la utilidad de las intervenciones sobre las estaciones de trabajo, modificando aspectos en la ergonomía, para la prevención o reducción de problemas musculoesqueléticos en la población trabajadora y así mejorar la productividad.

Esta tesis doctoral propone una evaluación ergonómica durante la utilización de distintos dispositivos de entrada en patología digital. La justificación de este trabajo es colaborar en el conocimiento de las demandas, desde el punto de vista ergonómico, que exige un trabajo continuado en patología digital.

Por lo antes expuesto, la hipótesis del siguiente trabajo es la siguiente:

Es posible encontrar diferencias, desde el punto de vista ergonómico, entre los distintos dispositivos de entrada durante su uso en patología digital.

2.2. Objetivos.

Objetivo general:

- Mejorar el conocimiento, desde el punto de vista ergonómico, en la interacción humano-computadora con dispositivos de entrada en patología digital.

Objetivos específicos:

1 - Validar una metodología que permita comparar dispositivos de entrada cuando se utilizan con imágenes histológicas digitalizadas.



2 - Describir la carga mental de trabajo percibida al utilizar distintos dispositivos de entrada.

3 - Analizar las diferencias electromiográficas de músculos involucrados en la interacción con dispositivos de entrada en patología digital.

4 - Cuantificar las demandas físicas generadas por los distintos dispositivos de entrada.

5 - Establecer un *ranking* general, desde el punto de vista ergonómico, con los dispositivos de entrada estudiados.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. PROCEDIMIENTO GENERAL

Para el estudio fue solicitado el informe de idoneidad por parte del Comité Ético de Investigación Clínica de la Universidad de Murcia.

Para la realización de la presente investigación se ha utilizado una población de estudiantes de Medicina de la Universidad de Murcia que se presentó de manera voluntaria tras una propuesta abierta durante el transcurso de una clase de la asignatura de Anatomía Patológica.

La prueba tuvo lugar en una sala acondicionada, localizada dentro de las instalaciones del Servicio de Anatomía Patológica del Hospital General Universitario Morales Meseguer de Murcia. Los sujetos tuvieron que quitarse la ropa que cubría el miembro superior y las zonas dorsal y cervical para la colocación de los electrodos para el registro electromiográfico.

Tras un periodo de familiarización con los 10 dispositivos de entrada incluidos en el estudio, los sujetos realizaron una prueba consistente en el manejo de cada dispositivo, de manera randomizada, con una misma matriz tisular o preparación histológica digitalizada y configurada basándonos en la ley de Fitts, con movimientos de desplazamiento en el eje X, Y y Z, haciendo uso de los botones para tal fin, siendo estos, el botón principal y la rueda o *scroll*. Durante dicha prueba fueron registrados:

- Señal electromiográfica de los grupos musculares considerados.
- Tiempo en completar el ejercicio con cada dispositivo.
- Parámetros indirectos de movimiento con el software Mousotron (distancia recorrida, y pulsaciones ejercidas sobre el dispositivo).

Tras la prueba, finalizaron la cumplimentación del cuestionario de carga mental de trabajo NASA-TLX que habían iniciado con anterioridad al ejercicio, en su fase de ponderación, así como un cuestionario que incluía aspectos ergonómicos subjetivos a valorar según una escala tipo Likert.



3.1.1. VALORACIONES PREVIAS

Antes de llevar a cabo la prueba, se realizó la cumplimentación del consentimiento informado (anexo 1) y los voluntarios fueron citados para una explicación exhaustiva del proyecto. Se llevó a cabo un entrenamiento previo de al menos 20 minutos, con ejercicios para la familiarización con cada uno de los distintos dispositivos a estudio, consistentes en el empleo de la aplicación online *Google Maps* (Google) y de imágenes digitalizadas histológicas con el *software Image Viewer* (Ventana). Tras dicho entrenamiento, los participantes llevaron a cabo un registro de la precisión alcanzada con cada dispositivo a través de una aplicación *online* basada en la ley de Fitts (Goldberg *et al.* 2015). (figura 15)

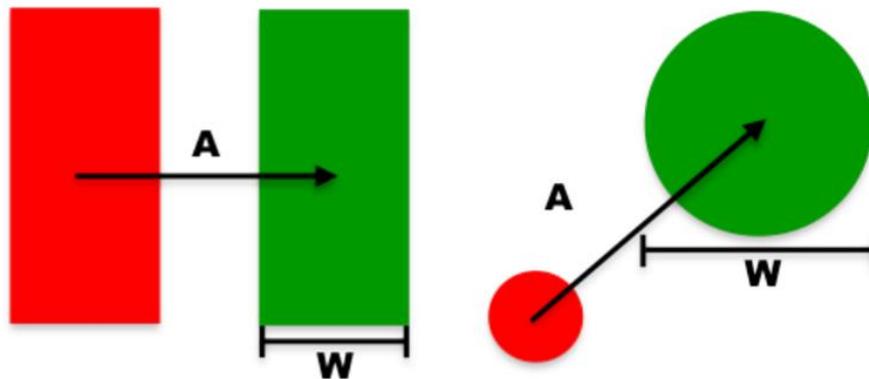


Figura 15. Esquema del ejercicio para el cálculo de la precisión, basado en la Ley de Fitts, con las variables *A* (*Amplitude*) o amplitud del movimiento y *W* (*Width*), la anchura del objeto.

Del mismo modo, se les introdujo en el test de carga mental NASA-TLX (anexo 2) para la cumplimentación de la parte de ponderación, previa a la prueba y se les explicó un cuestionario para la valoración de distintos aspectos de los dispositivos (anexo 3).

La matriz tisular consistió en una preparación histológica digitalizada confeccionada en base a la ley de Fitts, de modo que se utilizó tejido hepático procedente de un conejo sacrificado de manera tradicional, fijado en formol tamponado durante 36 horas y embebido en parafina. Se comprobó la preservación tisular para su

valoración mediante una sección de 4 micras teñida con hematoxilina-eosina. Se utilizó un *arrayer* de tejido, *Manual Tissue Arrayer* MTA-1 (BeecherInstruments, Inc) (figura 16) y se confeccionó una matriz que incluyó 5 parejas de tejido de distintos tamaños y distancias entre sí, según el siguiente esquema:

- Primera pareja: 1,5 mm de diámetro y 16 mm de separación.
- Segunda pareja: 0,6 mm de diámetro y 6 mm de separación.
- Tercera pareja: 1,5 mm de diámetro y 2 mm de separación.
- Cuarta pareja: 1 mm de diámetro y 10 mm de separación.
- Quinta pareja: 0,6 mm de diámetro y 16 mm de separación.

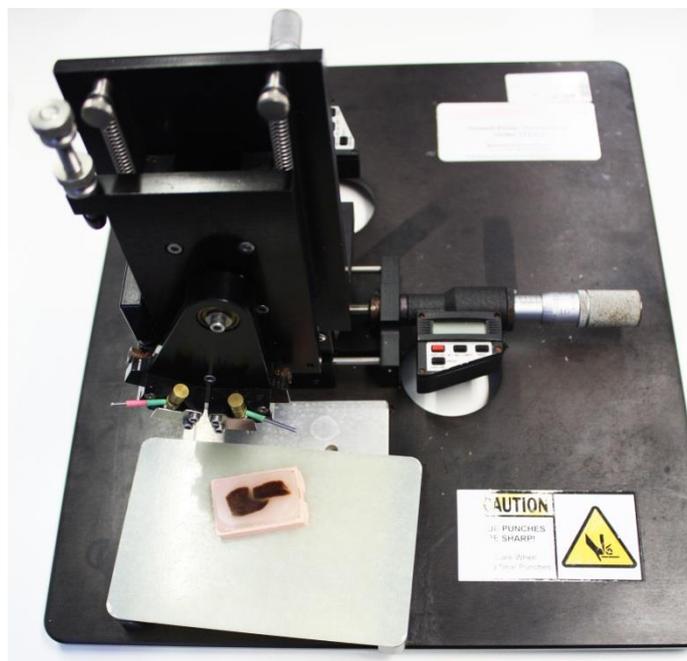


Figura 16. *Tissue Arrayer* para la elaboración de la matriz tisular.

Tras el corte con un micrótopo de la matriz resultante parafinada y su tinción con hematoxilina-eosina (figura 17), la preparación histológica fue digitalizada con un escáner (iScan Coreo, Ventana) en modo rutina a 20X (figura 18), consiguiendo un aumento final de 200 aumentos. La preparación digital obtenida sería sobre la cuál, los voluntarios tendrían que realizar un movimiento de acercamiento a 20X y alejamiento a 0,5X, en cada área circular para, a continuación, dirigirse a su pareja, realizando el mismo ejercicio hasta finalizar las 5 parejas (figura 19).



Figura 17. Matriz tisular parafinada y sección resultante.



Figura 18. Sistema de escaneo.

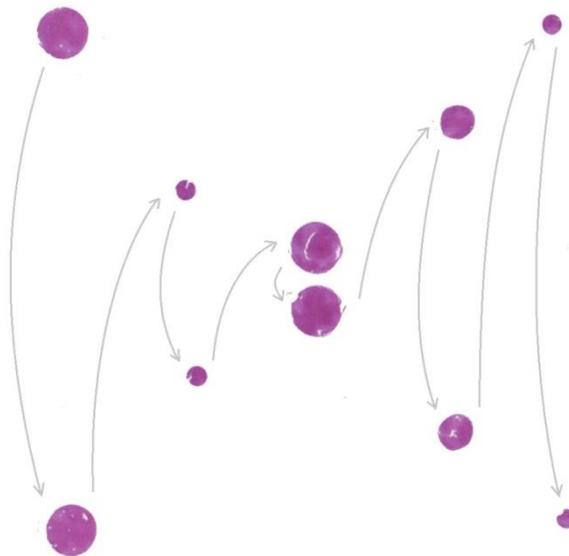


Figura 19. Esquema del recorrido por los campos tisulares digitalizados.

3.1.2. ELECTROMIOGRAFÍA

3.1.2.1. COLOCACIÓN DE ELECTRODOS

Para la colocación de los electrodos se siguió el protocolo del proyecto SENIAM (*Surface Electromyography for the Non-invasive Assessment of Muscle*) (SENIAM 1999), que consiste en seguir la línea media del vientre muscular y situar el electrodo entre la unión miotendinosa y el punto motor, separados éstos por una distancia de uno o dos centímetros. Tanto para la selección como para la localización de los músculos que fueron analizados en este trabajo, se tomaron como referencia las descripciones anatómicas de Kendall (Peterson *et al.* 2007).

La localización fue la misma en los diferentes individuos y se evitaron zonas adyacentes a otros músculos para que no interfiesen en la señal y que ésta no resultase contaminada (fenómeno *cross-talk*). Antes de colocar los electrodos activos, se marcaron las referencias anatómicas pertinentes, así como los puntos en los que se posicionaron los electrodos. Los electrodos fueron colocados por la misma persona en todos los sujetos. Se realizó la limpieza con alcohol de la superficie para reducir la impedancia existente y eliminar la posible capa de sudor u otras lociones corporales.

Los electrodos activos con su preamplificador fueron colocados sobre los siguientes músculos (Tabla 1):

- Aductor del pulgar.
- Extensor largo del pulgar.
- Extensor común de los dedos.
- Flexor común de los dedos.
- Deltoides medio.
- Trapecio superior.
- Trapecio medio.



Tabla 1. Esquema de la musculatura a estudio y posicionamiento de los electrodos.

| SENSOR / MÚSCULO | POSICIÓN | ESQUEMA |
|----------------------------|---|---------|
| 1 ADUCTOR PULGAR | Punto medio entre apófisis estiloides cubital y 3ª falange de primer dedo. | |
| 2 EXTENSOR LARGO PULGAR | Unión 1/3 distal con los 2/3 proximales, línea entre 3ª falange de 1º dedo y epicóndilo medial humeral. | |
| 3 EXTENSOR COMÚN DEDOS | Unión 1/3 proximal con 2/3 distales, línea entre epicóndilo lateral humeral y estiloides. | |
| 4 FLEXOR COMÚN DEDOS | Idem, cara ventral. | |
| 5 DELTOIDES MEDIO | 6 cm distal desde acromion o área más abultada. | |
| 6 TRAPECIO SUPERIOR | Punto medio entre acromion y apófisis de C7. | |
| 7 TRAPECIO MEDIO | Punto medio entre cara medial escapular y T3. | |

3.1.2.2. ANÁLISIS ELECTROMIOGRÁFICO DE LA ACTIVIDAD MUSCULAR EN REPOSO

Se realizó un registro electromiográfico en reposo en posición sentado en un asiento ergonómico con espalda, antebrazo y pies apoyados sobre respaldo, reposabrazos y suelo, respectivamente, durante 10 segundos. Se solicitó a los sujetos que se abstuvieran de realizar movimiento alguno.

3.1.2.3. ANÁLISIS ELECTROMIOGRÁFICO DE LA CONTRACCIÓN VOLUNTARIA MÁXIMA

Con el fin de obtener un registro máximo, que nos sirviera para plantearnos relativizar los valores en cada uno de los ejercicios, se registró la actividad eléctrica durante la contracción voluntaria máxima (CVM) de cada uno de los grupos musculares a estudio a través del empleo de un dinamómetro manual.

En este estudio, sin embargo, para obtener los valores electromiográficos relativos, finalmente optamos por relativizar los registros electromiográficos durante la ejecución del ejercicio con respecto a los valores en reposo, considerando de este modo la actividad eléctrica como demandas o incrementos en relación una situación basal y no como una fracción de una máxima difícilmente alcanzable con este tipo de actividad y que nos parecía desproporcionada.

3.1.3. ANAMNESIS Y EXPLORACIÓN GENERAL

Previamente a que los sujetos del estudio realizasen el ejercicio con cada dispositivo, se registraron los datos antropométricos, incluyendo la exploración de la extremidad superior derecha. Se realizó una medición de:

- Peso y altura.
- Diámetros: de la muñeca y el codo.
- Longitudes: de la mano, del antebrazo y del brazo.
- Perímetros: de la muñeca y del brazo (a nivel de la musculatura del bíceps braquial), contraído y relajado (figura 20).



- Pliegues: se utilizó un plicómetro (figura 21) para determinar la cantidad de tejido graso de cada sujeto a nivel del tríceps y del bíceps.



Figuras 20 y 21. Medición de perímetros y plicómetro, respectivamente.

Además, se evaluó la fuerza máxima global de la extremidad superior derecha de los individuos a través de un dinamómetro manual (figura 22), mientras el miembro superior permanecía sobre el reposabrazos de la silla en la que estaban sentados los participantes y en una posición similar a la que se adopta cuando se maneja el ratón del ordenador.



Figura 22. Dinamómetro manual.

3.2. MATERIAL

3.2.1. POBLACIÓN

Para la comparación de los dispositivos de entrada y la valoración de los mismos, se solicitó la colaboración de estudiantes de medicina de la Universidad de Murcia de cuarto curso. Participaron seis estudiantes (cinco hombres y una mujer), con edades comprendidas entre los veintiún y veintidós años. Se trataba de voluntarios diestros sanos, por lo que todos manejaron los diferentes dispositivos con la extremidad superior derecha. No tenían antecedentes de lesiones musculoesqueléticas.

A todos ellos se les explicó los fines del trabajo y su metodología, obteniéndose el correspondiente consentimiento informado. Ninguno de los participantes abandonó el estudio una vez iniciado.

De todos ellos, se pudo obtener toda la información requerida y se pudieron realizar todos los ejercicios previstos, siendo el grado de cumplimentación del 100%.

3.2.2. DISPOSITIVOS DE ENTRADA

Se han incorporado a este estudio dispositivos de entrada con características que consideramos significativamente distintas. Aspectos como el carácter inalámbrico (por conectividad de tipo radiofrecuencia a 2,4 Ghz, a través de un conector tipo *universal serial bus*, USB), la versatilidad (distinta mano o dedos), la movilidad de dedos, muñeca, antebrazo y brazo. Se excluyeron de este estudio otros dispositivos que no pudieron ser adaptados a esta metodología o bien con resultados claramente inferiores en valoraciones preliminares (*gamepad* y teclado convencional), así como dispositivos de entrada de limitada disponibilidad.

3.2.2.1. RATÓN CONVENCIONAL

El ratón óptico convencional empleado (Hewlett Packard, HP) era ampliamente conocido por todos los participantes del estudio por tratarse del dispositivo habitual de



los ordenadores de sobremesa y se caracteriza por su uso con una sola mano. Involucra distintos grupos musculares, con movimientos de supinación/pronación, flexoextensión de muñeca y de movilización de la articulación del hombro. La conexión es a través de un cable USB (figura 23).



Figura 23. Ratón convencional.

3.2.2.2. RATÓN VERTICAL

Este dispositivo (CLS Computer), es relativamente reciente y presenta características similares al ratón convencional, incluido el sensor óptico y la conexión tipo USB, salvo por el diseño verticalizado, que se adapta a la concavidad de la mano además de ofrecer una posición más neutra de los músculos del antebrazo, evitando una pronación excesiva, como en el caso del ratón convencional. Dispone de botón propio para configuración en 1000 o 1600 cpi (figura 24).



Figura 24. Ratón vertical.

3.2.2.3. TRACKBALL (AZUL)

Este dispositivo de entrada inalámbrico por radiofrecuencia (Logitech M570), presenta un sensor láser y, al igual que otros *trackballs*, se basa en el concepto de mover la esfera que incorpora y no el dispositivo, a través de desplazamientos del pulgar para trasladar el puntero o cursor, mientras que el codo y el hombro no son movilizados, otorgándole al dispositivo una posición fija. El fabricante refleja una especificación de 570 cpi (figura 25).



Figura 25. Trackball azul.



3.2.2.4. TRACKBALL (NEGRO)

Este trackball (Kensington 64325) de sensor óptico presenta similitud con el dispositivo anterior, salvo por su conexión a través de un cable USB y que puede ser manejado con distinta mano y dedos. Presenta la posibilidad de configurar los botones, aspecto limitante en el dispositivo anterior. No vienen referenciados los dpi por el fabricante (figura 26).



Figura 26. *Trackball* negro.

3.2.2.5. TOUCHPAD

El *touchpad*, *trackpad* o panel táctil está frecuentemente constituido por una matriz doble, una vertical y una horizontal, en dos planos, formando una cuadrícula dotada de capacitancia, de modo que cuando un dedo toca un punto en el panel táctil, se registra su localización. Permite el uso con ambas manos y con diferentes dedos. El seleccionado (Logitech K400r), es inalámbrico (radiofrecuencia) y tiene un valor progresivo de cpi, no fijo como en el resto de dispositivos, sino que varía en función de la velocidad de desplazamiento del dedo (figura 27).



Figura 27. Touchpad.

3.2.2.6. ROLLERMOUSE

El dispositivo Rollermouse modelo Red Plus (Contour), de muy reciente comercialización, presenta combinación de sensores, incluyendo uno láser, y se caracteriza por ofrecer una posición centrada, más neutra con versatilidad en relación a la mano, así como a los dedos. Es configurable en cpi (800/1000/1200/24000) y tiene una conexión por cable USB (figura 28).



Figura 28. Rollermouse.



3.2.2.7. TRACKBALL (ROJO)

Este *trackball* (ULove) con sensor óptico, presenta pequeño tamaño y adaptación a la mano, pudiendo ser posicionado neutramente, limitando la movilidad de codo y hombro, siendo de nuevo, el dedo pulgar el encargado de mover el cursor. Es un dispositivo inalámbrico (radiofrecuencia) y configurable en cpi (400/600/800/1000) (figura 29).



Figura 29. *Trackball* rojo.

3.2.2.8. ERGO POINTER

ErgoPointer (Märzhäuser Sensotech) es un dispositivo a medio camino entre un microscopio y un dispositivo de entrada digital. Está diseñado con la finalidad de controlar imágenes microscópicas digitalizadas e hipotéticamente, debe otorgar una rápida adaptación a los microscopistas, ya que se ha diseñado exclusivamente para dichos usuarios. Presenta conexión por cable USB y no vienen reflejados los dpi por el fabricante (figura 30).

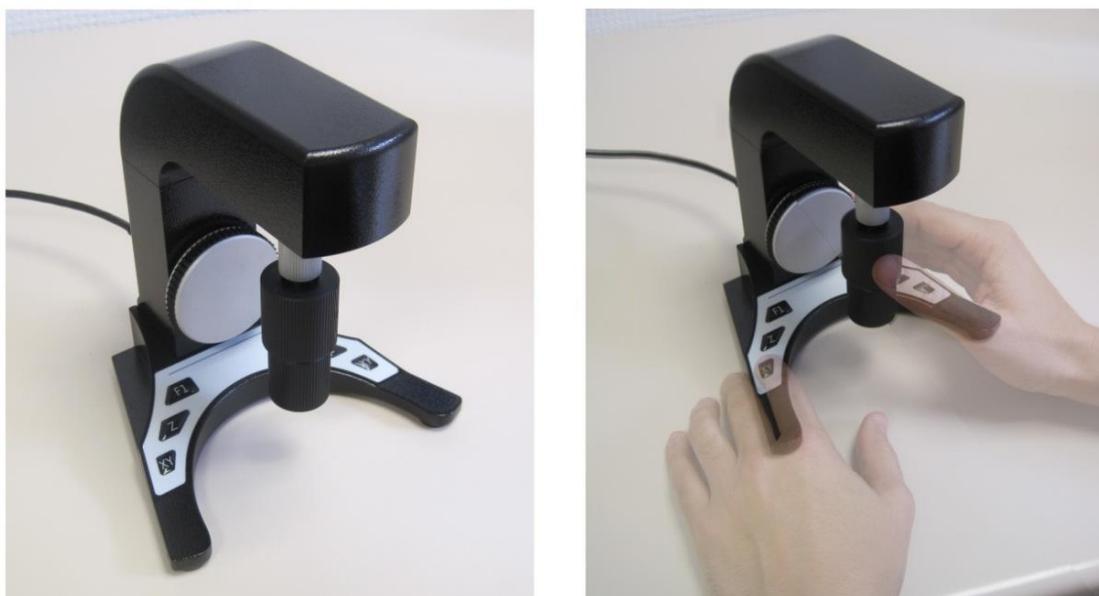


Figura 30. Ergopointer.

3.2.2.9. LAPIZ ÓPTICO

El lápiz con sensor óptico Touch Pen Mouse (Soldiar) se caracteriza por su diseño ergonómico adaptado a la mano y por ser inalámbrico, siendo el movimiento predominante el de la muñeca. Presenta configuración en dpi de 800/1200/1600 y botones con funcionalidades similares, como en los dispositivos anteriores, al ratón convencional (figura 31).

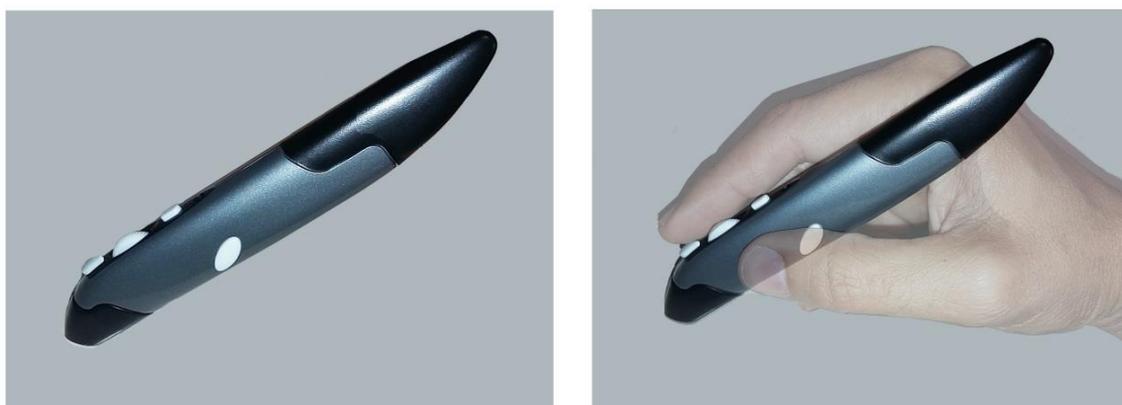


Figura 31. Lápiz óptico.



3.2.2.10. LEAP MOTION CONTROLLER

Leap Motion Controller (Leap Motion) es un dispositivo que captura, sin contacto físico, los movimientos de la mano y dedos. Lo hace a través de un sistema de iluminación infrarroja y del registro en sus sensores de la reflexión producida por el objeto iluminado, que será nuestra mano. Se trata de un dispositivo con una clara diferenciación respecto al resto por dichas características (figura 32). Se utilizó el *software* MudraMouse para poder usar dicho dispositivo como cursor, en donde la aproximación de primer y segundo dedo ejercen la función de clic izquierdo (a) y la rotación del segundo, la rueda o *scroll* (b) (figura 33).

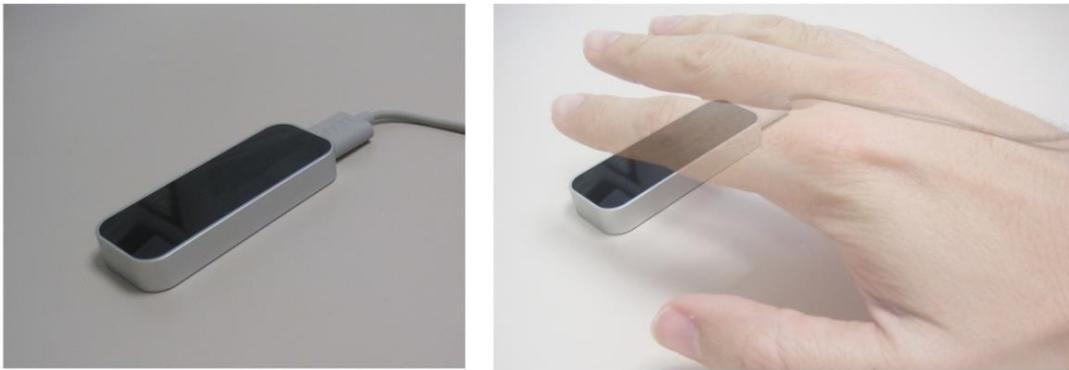


Figura 32. Leap Motion.



Figura 33. Posición y movimientos con Leap Motion.

Para tratar de homogeneizar desplazamientos con los distintos dispositivos de entrada, se ajustaron previamente los puntos por pulgada (dpi o cpi) o sensibilidad. Esto es un aspecto limitante dada la configuración preestablecida de cada dispositivo y la falta de información por parte de los fabricantes. Por ello, se realizó una equivalencia entre el desplazamiento analógico del dispositivo o, en su caso, de la bola, mano o dedos, y la conversión a píxeles en el monitor y a la distancia reflejada por el *software* Mousotron, que en nuestro caso registra 1 cm por cada 70 píxeles (tabla 2).

Tabla 2. Equivalencias calculadas para cada dispositivo.

| DISPOSITIVO | DPI/CPI | CONVERSIÓN ANALÓGICO/Píxeles/Mousotron |
|-----------------------|-----------------|---|
| RATÓN CONVENCIONAL | No especificado | 1cm/377px/5,4cm |
| RATÓN VERTICAL | 1000 | 1cm/677px/9,7cm |
| TRACKBALL (AZUL) | 570 | 1cm/290px/4,1cm |
| TRACKBALL (NEGRO) | No especificado | 1cm/194px/2,8cm |
| TOUCH PAD | No especificado | ----- |
| ROLLERMOUSE | 800 | 1cm/467px/6,7cm |
| TRACKBALL (ROJO) | 400 | 1cm/412px/5,9cm |
| ERGOPOINTER | No especificado | 1 cm/638px/8,7cm |
| LÁPIZ ÓPTICO | 800 | 1 cm/455/6,5cm |
| LEAP MOTION | No especificado | 1cm /84px/1,2 cm |



3.2.3. HARDWARE ADICIONAL

Para el estudio se utilizó, un monitor Barco Coronis Fusion MDCC 4330 de 30 pulgadas, con una resolución de 4 MP (2560x1600), asociado a un ordenador Hewlett Packard con sistema operativo Windows 7 Professional, procesador Intel Core i5, 3.60 GHz, 8 Gb de memoria RAM y 64 bits.

3.2.4. SOFTWARE

Para la familiarización con cada dispositivo, los estudiantes que participaron en el estudio utilizaron el *software* Google Maps, visor gratuito de mapas vía web con navegador Google Chrome. Para el cálculo de la precisión se empleó una aplicación web tipo test, basada en la ley de Fitts y diseñada con lenguaje de programación JAVA, desarrollada por la Universidad de Berkeley, California (<http://automation.berkeley.edu/fitts/index.html>). Dicho test requirió que los sujetos completasen dos ejercicios usando el cursor para hacer clic en una secuencia de objetivos rectangulares o circulares conforme se iban mostrando en la pantalla. La aplicación registra el tiempo en milisegundos entre el momento en el que el objetivo aparece en pantalla hasta que el sujeto hace clic en dicho objetivo, y obviamente, se ve demorado si el usuario no consigue posicionar el cursor dentro del objetivo. El primer ejercicio mostraba 33 pares de rectángulos con variación de su anchura (*width*, *w*) y distancia o amplitud (*amplitude*, *a*) y el segundo, 25 pares de círculos con similar variación. Para permitir la familiarización de los sujetos con cada ejercicio, el sistema descarta los registros de las tres primeras medidas de tiempo (Goldberg *et al.* 2015).

Finalmente, el ejercicio se llevó a cabo con el visor de preparaciones tisulares digitales Image Viewer (Ventana Medical Systems, Inc) versión 3.1.4. Este software permite, haciendo uso de un dispositivo de entrada, visualizar imágenes digitales procedentes de preparaciones citológicas o histológicas digitalizadas, a través del desplazamiento y con la posibilidad de acercar o alejar la imagen hasta los límites establecidos por el escáner, además de otras posibilidades que quedan fuera de este trabajo.

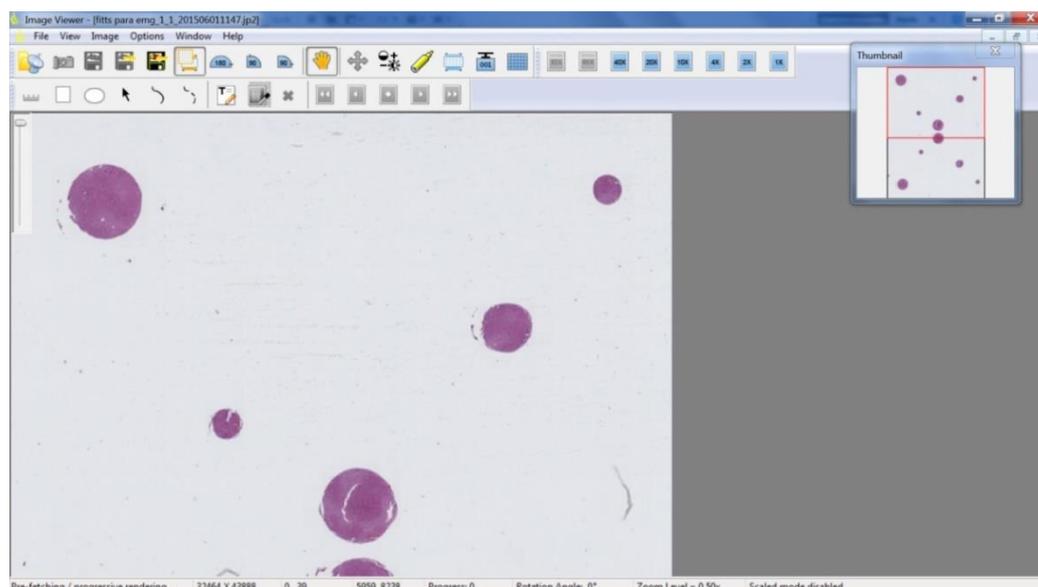


Figura 34. Image Viewer. Preparación digital a mínimo aumento (1.5x) (margen superior derecho: miniatura para visualizar en todo momento la matriz diseñada).

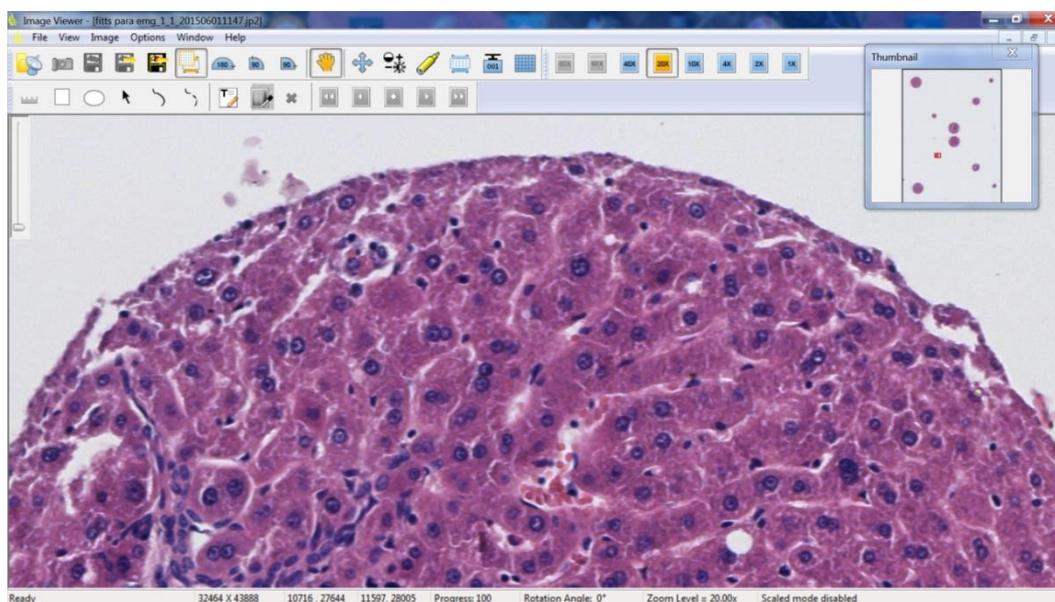


Figura 35. Image Viewer. Preparación digital a máximo aumento (20x).

Para el registro de la actividad desarrollada con los distintos dispositivos de entrada, incluyendo tiempo de ejecución, pulsaciones, desplazamientos y movimientos de la rueda o *scroll*, se empleó el software Mousotron (Blacksun Software), versión



12.1 (figura 36). No obstante, se tuvo que realizar una conversión de las distancias registradas para cada dispositivo en función de los pixeles recorridos en pantalla por centímetro real desplazado (tabla 2).

| setup | on | días | hr | min | sec | km | m | cm | clics izquierdo | botón derecho | botón central | rueda del ratón | velocidad (km/h) | |
|-------|----|------|----|-----|-----|----|---|----|-----------------|---------------|---------------|-----------------|------------------|-----|
| ? | - | x | 0 | 0 | 0 | 23 | 0 | 0 | 74 | 16 | 0 | 0 | 41 | 000 |

Figura 36. Software Mousotron.

3.2.5. ACONDICIONAMIENTO Y MOBILIARIO

El estudio tuvo lugar en un espacio de trabajo acondicionado con escritorio a 75 cm, silla con asiento y reposabrazos ajustables en altura, así como refuerzo lumbar. La temperatura ambiente fue regulada para conseguir 26° +/- 1 grados Celsius, dentro del rango recomendado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Real Decreto 486/1997), adaptándola igualmente para un desarrollo óptimo del registro electromiográfico debido a las alteraciones descritas en la literatura (Winkel *et al.* 1991, Bell 1993 y McKay *et al.* 2013).

3.2.6. ELECTROMIOGRAFÍA DE SUPERFICIE

3.2.6.1. ELECTROMIÓGRAFO

Para el registro electromiográfico se utilizó el sistema portátil PS850 (Biometrics, Reino Unido) que incluye el electromiógrafo de superficie DataLOG MWX8 (figura 37). Se trata de un microordenador portátil de 8 canales con una conversión analógica/digital (A/D) de 13 bit, un Common-Mode Rejection Ratio (CMRR) de 110 dB y un filtro de banda de 8-500 Hz. En nuestro estudio se programó la frecuencia de muestreo a 1.000 Hz. La señal fue transferida a un ordenador vía *bluetooth* para su registro y posterior análisis.



Figura 37. Electromiógrafo de superficie DataLog MWX8 de Biometrics®.

3.2.6.2. ELECTRODOS

Disponemos de dos tipos de electrodo, el de referencia (modelo R506), que se colocó en la apófisis estiloides cubital en la muñeca izquierda y los electrodos activos bipolares, de 10 mm de diámetro y con una distancia interelectrodo de dos centímetros (modelo SX230), que se posicionaron en los músculos a estudio (figura 38). Entre el electrodo y la superficie cutánea se emplearon cintas adhesivas de doble cara hipoalergénicas (modelo T350).



Figura 38. Electrodo activo y cinta adhesiva de doble cara.



3.2.6.3. REALIZACIÓN DE LA ELECTROMIOGRAFÍA

Tras la **fase previa** de limpieza de superficie y colocación de los electrodos, se procedió a la **fase de registro**, comprobando uno de los investigadores en todo momento el correcto registro de las señales, mientras el otro investigador daba las instrucciones pertinentes a los participantes y controlaba que la ejecución fuese adecuada, incluyendo el registro de los tiempos. La actividad mioeléctrica, medida en milivoltios (mV), aparece en la superficie de la piel a modo de potenciales eléctricos con un ancho de banda de 15-20 a 400-500 Hz. Se registró la señal en reposo, durante la prueba de contracción voluntaria máxima (CVM) y durante la realización del ejercicio. La información de todos los preamplificadores se dirigió al sistema de adquisición de datos DataLOG (MWX8), que actuó de interfaz con el ordenador. La señal se transmitió vía *bluetooth* y se almacenó para su análisis con el DataLog PC Software, versión 8.0 (Biometrics).

Por último, con la **fase de procesado**, se analizan las frecuencias y amplitudes, para lo cual se realiza el filtrado de la señal, eliminando potenciales de amplitudes y/o frecuencias fuera del espectro habitual (artefactos o contaminación del registro) y se rectifica la señal, tomando el valor absoluto de la misma, sin considerar el signo. Para la amplitud, se utilizó un filtro constante de media cuadrática o RMS (Root Mean Square) de 100 milisegundos (ms) y para filtrar las frecuencias se utilizó el filtro de 64 Hz.

3.3. DESARROLLO DEL EJERCICIO

Una vez posicionados los electrodos, cada participante procedió a realizar el ejercicio propuesto con los 10 dispositivos en orden randomizado (figuras 39 y 40). El inicio del ejercicio lo daba la ejecución del *software* Mousotron y el punto de partida era la imagen digitalizada a mínimo aumento (1,5 x), para iniciar con cada dispositivo una aproximación hasta los máximos aumentos (20 x), regresar al mínimo aumento y acercarse a su imagen homóloga, repitiendo el procedimiento a lo largo de las 5 parejas de tejido que conforman la matriz tisular.

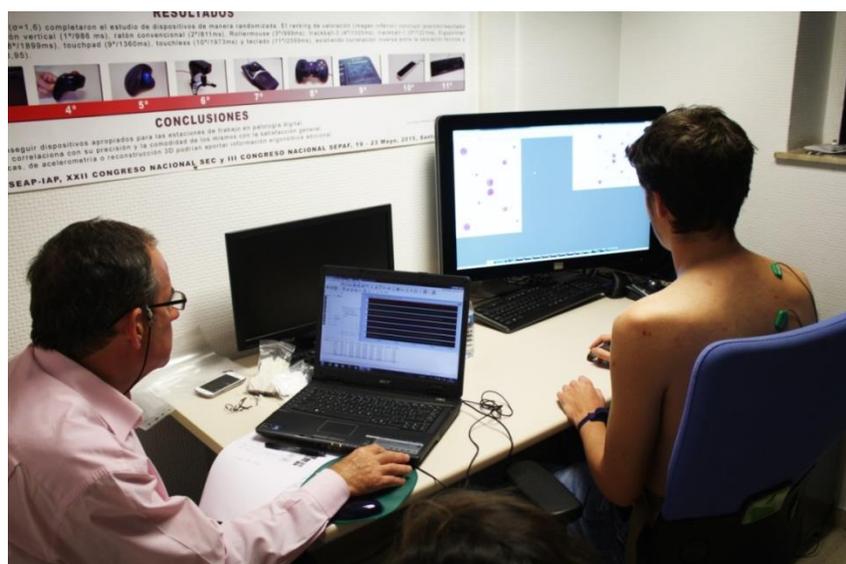


Figura 39. Desarrollo del ejercicio I. Investigador (izquierda) comprobando el registro electromiográfico y participante (derecha) con electrodo de referencia sobre apófisis estiloides cubital en la muñeca izquierda, controlando un dispositivo de entrada con la mano derecha.

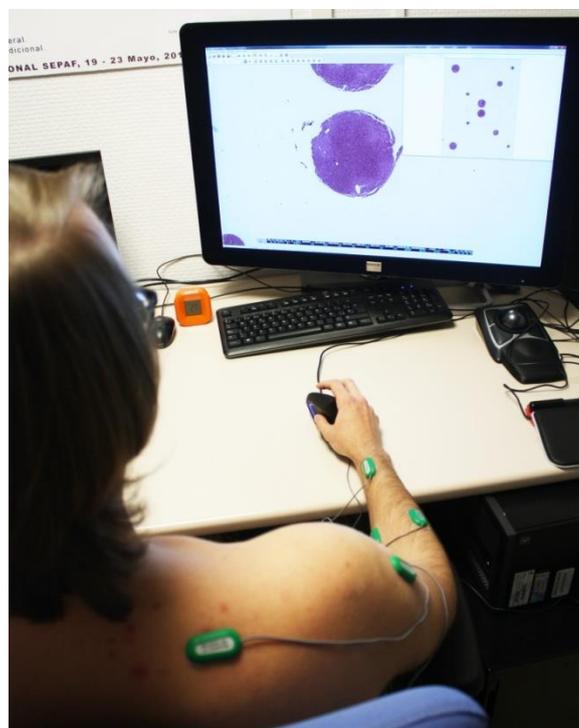


Figura 40. Desarrollo del ejercicio II. Participante realizando el ejercicio con el dispositivo de entrada ratón vertical sobre monitor de alta resolución. Detalle (naranja) de termómetro para controlar la temperatura ambiente.



3.4. MÉTODO ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete estadístico IBM SPSS Statistics versión 20 (SPSS Inc, Chicago, IL) para Windows, a partir de los datos introducidos mediante la hoja de cálculo Microsoft Excell 16.0.

Para el análisis de los resultados se presentan:

1. Medidas de posición central: Media aritmética
2. Medidas de Dispersión: Desviación típica (DT), máximo, mínimo y Coeficiente de Variación (CV) de Pearson, expresado en porcentajes.
3. Estudio de independencia de variables categóricas mediante el test de la Chi-cuadrado.
4. Estudio previo de los datos muestrales en relación a su distribución Normal mediante el Test de Komogorov-Smirnof y aplicación de pruebas paramétricas o no paramétricas según los resultados obtenidos. Cuando estudiamos la muestra total, al tener un tamaño superior a 30 datos, queda protegida por el teorema central del límite, aceptando su distribución normal.
5. El estudio de la correlación de variables con distribución normal se realizó a través del Coeficiente de Correlación de Pearson, el cuál toma valores entre 0% y 100% y se categoriza su intensidad de la siguiente forma:
 - 0% hasta 25%: asociación pobre entre las variables.
 - 25,01% hasta 50%: asociación débil entre las variables.
 - 50,01% hasta 75%: asociación fuerte entre las variables.
 - 75,01% hasta 100%: asociación muy fuerte entre las variables.
6. El estudio de la correlación de variables que no se distribuyeron normalmente se efectuó a través del coeficiente de correlación de Spearman. Este coeficiente oscila entre -1 y +1, donde los valores absolutos mayores indican que la relación es más fuerte.

7. Para evaluar el grado de asociación entre variables cuantitativas y categóricas (comparación de medias), se efectuó el modelo matemático de análisis de la varianza o ANOVA *one way*. Previamente, se comprobó que se verificaban las condiciones de Normalidad y homogeneidad de las varianzas mediante el Test de Levene. A posteriori, se efectuaron comparaciones múltiples *post hoc* mediante la pruebas de Bonferroni o de Games-Howell.

Los estudios estadísticos se realizaron aceptando los niveles de significación de $p < 0,05$, con un nivel de confianza del 95% y de manera puntual se aceptaron niveles de confianza del 99% ($p < 0,01$) y del 99,9% ($p < 0,001$).



Tesis Doctoral. Manejo de la imagen digital en Anatomía Patológica.
Análisis comparativo de dispositivos de entrada.

4. RESULTADOS

4. RESULTADOS

4.1. POBLACIÓN

Este estudio se realizó sobre una población de 6 estudiantes de medicina sanos, diestros y físicamente activos, sin lesiones en los miembros superiores. La edad media fue de 21 años, con una desviación típica de 0,41 (rango 21-22).

4.2. VALORES ANTROPOMÉTRICOS

En la tabla 3 se muestran los valores medios, desviaciones típicas, rangos y coeficientes de variación de los registros antropométricos: diámetros de muñeca y codo, longitudes de mano, antebrazo y brazo, perímetros de muñeca, antebrazo, bíceps contraído y bíceps relajado, y pliegues de bíceps y tríceps. Igualmente, se exponen los registros de fuerza, haciendo uso de un dinamómetro manual.

Tabla 3. Valores antropométricos (diámetros, longitudes, perímetros y pliegues) y de fuerza.

| | | Media | Desv. típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|---------------------------|------------------|-------|--------------|--------|--------|--------|
| DIÁMETROS (cm) | Muñeca | 5,32 | 0,37 | 6,88% | 4,7 | 5,8 |
| | Codo | 6,83 | 0,37 | 5,45% | 6,1 | 7,1 |
| LONGITUD (cm) | Mano | 21,08 | 1,43 | 6,78% | 18,5 | 22,5 |
| | Antebrazo | 26,50 | 2,43 | 9,17% | 23 | 30 |
| | Brazo | 34,33 | 2,97 | 8,65% | 29 | 37,3 |
| PERÍMETROS (cm) | Muñeca | 15,62 | 1,23 | 7,90% | 14 | 17 |
| | Antebrazo | 21,07 | 2,64 | 12,55% | 18 | 24 |
| | Bíceps contraído | 30,38 | 2,95 | 9,71% | 26 | 33 |
| | Bíceps relajado | 28,50 | 2,93 | 10,29% | 24,5 | 32 |
| PLIEGUES (mm) | Bíceps | 6,37 | 2,25 | 35,34% | 2,8 | 8,8 |
| | Tríceps | 11,83 | 4,47 | 37,78% | 7 | 20,2 |
| FUERZA (Kg) | Fuerza | 27,00 | 11,82 | 43,76% | 7 | 35 |



4.3. CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

A continuación, se exponen los resultados de las puntuaciones efectuadas por los participantes, encuadradas en el cuestionario de valoración (Anexo 3) con una escala de tipo Likert de 5 puntos, donde:

- 1 – Malo (Totalmente en desacuerdo).
- 2 – Regular (En desacuerdo).
- 3 – Normal (Ni de acuerdo ni en desacuerdo).
- 4 – Bueno (De acuerdo).
- 5 – Excelente (Totalmente de acuerdo).

Se representan en tablas los valores medios, desviaciones típicas, rangos y coeficientes de variación, así como un *ranking* o clasificación decreciente para cada ítem.

4.3.1. COMODIDAD

Se propuso desglosar la comodidad en aquella referida al agarre del dispositivo (tabla 4, figura 41) y en la postural durante su utilización (tabla 5, figura 42). Finalmente se estableció un promedio (tabla 6, figura 43).

4.3.1.1. COMODIDAD DE AGARRE

La valoración de la comodidad de agarre o sujeción media para cada dispositivo se muestra en la tabla 4 y figura 41.

Tabla 4. Valores descriptivos de la comodidad de agarre.

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 4,5 | 0,5 | 12,17% | 4 | 5 |
| 2 | R. Vertical | 4,7 | 0,5 | 11,07% | 4 | 5 |
| 3 | Trackball azul | 4,2 | 0,8 | 18,07% | 3 | 5 |
| 4 | Trackball negro | 3,5 | 1,0 | 29,97% | 2 | 5 |
| 5 | Touchpad | 3,0 | 0,9 | 29,81% | 2 | 4 |
| 6 | Rollermouse | 4,2 | 0,8 | 18,07% | 3 | 5 |
| 7 | Trackball rojo | 4,8 | 0,4 | 8,45% | 4 | 5 |
| 8 | Ergopointer | 3,5 | 0,8 | 23,90% | 3 | 5 |
| 9 | Lápiz | 3,8 | 1,2 | 30,50% | 2 | 5 |
| 10 | Leap motion | 4,3 | 1,2 | 27,95% | 2 | 5 |

RANKING: COMODIDAD DE AGARRE

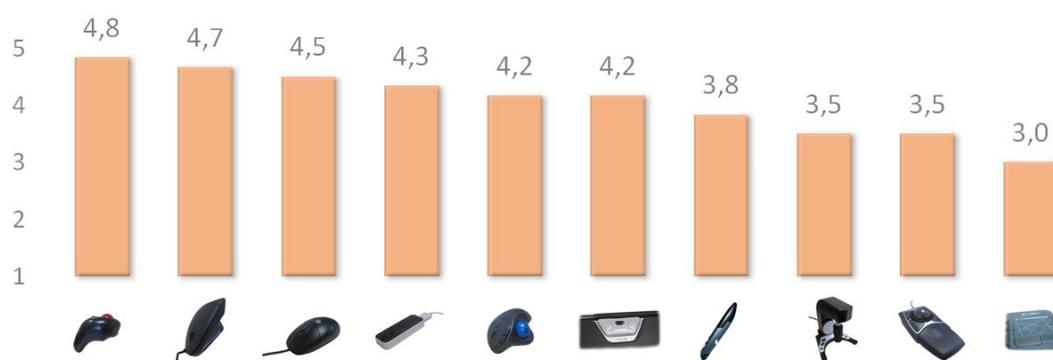


Figura 41. Ranking: comodidad de agarre.



4.3.1.2. COMODIDAD POSTURAL

La valoración de la comodidad postural se muestra en la tabla 5 y figura 42. Observamos al *trackball* rojo como el mejor posicionado, seguido por el ratón convencional y el ratón vertical.

Tabla 5. Valores descriptivos de la comodidad postural.

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 4,3 | 0,5 | 11,92% | 4 | 5 |
| 2 | R. Vertical | 4,3 | 0,5 | 11,92% | 4 | 5 |
| 3 | Trackball azul | 4,2 | 0,8 | 18,07% | 3 | 5 |
| 4 | Trackball negro | 3,7 | 1,0 | 28,17% | 2 | 5 |
| 5 | Touchpad | 3,3 | 1,4 | 40,99% | 2 | 5 |
| 6 | Rollermouse | 4,2 | 0,8 | 18,07% | 3 | 5 |
| 7 | Trackball rojo | 5,0 | 0,0 | 0,00% | 5 | 5 |
| 8 | Ergopointer | 3,2 | 0,8 | 23,77% | 2 | 4 |
| 9 | Lápiz | 3,5 | 1,2 | 34,99% | 2 | 5 |
| 10 | Leap motion | 2,3 | 0,8 | 34,99% | 1 | 3 |

RANKING: COMODIDAD POSTURAL

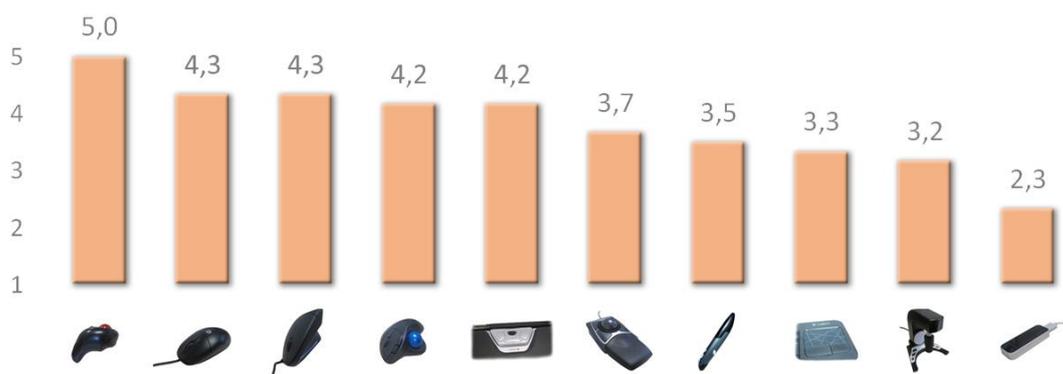


Figura 42. *Ranking*: comodidad postural.

4.3.1.3. COMODIDAD GLOBAL

Globalmente, vemos en la tabla 6 una valoración media de la comodidad de agarre y postural. Se observan diferencias de igualdad de medias entre los dispositivos ($F=3,502$ $p=0,002$) y es el *trackball* rojo el mejor valorado en este apartado, mientras que el *touchpad* ocupa la última posición (figura 43).

Tabla 6. Valores descriptivos de la comodidad global.

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 4,4 | 0,5 | 11,69% | 4 | 5 |
| 2 | R. Vertical | 4,5 | 0,5 | 11,48% | 4 | 5 |
| 3 | Trackball azul | 4,2 | 0,8 | 18,07% | 4 | 5 |
| 4 | Trackball negro | 3,6 | 1,0 | 28,82% | 2 | 4 |
| 5 | Touchpad | 3,2 | 1,4 | 43,15% | 2 | 4 |
| 6 | Rollermouse | 4,2 | 0,8 | 18,07% | 3 | 5 |
| 7 | Trackball rojo | 4,9 | 0,0 | 0,00% | 4 | 5 |
| 8 | Ergopointer | 3,3 | 0,8 | 22,58% | 2 | 4 |
| 9 | Lápiz | 3,7 | 1,2 | 33,40% | 2 | 5 |
| 10 | Leap motion | 3,3 | 0,8 | 24,49% | 2 | 4 |

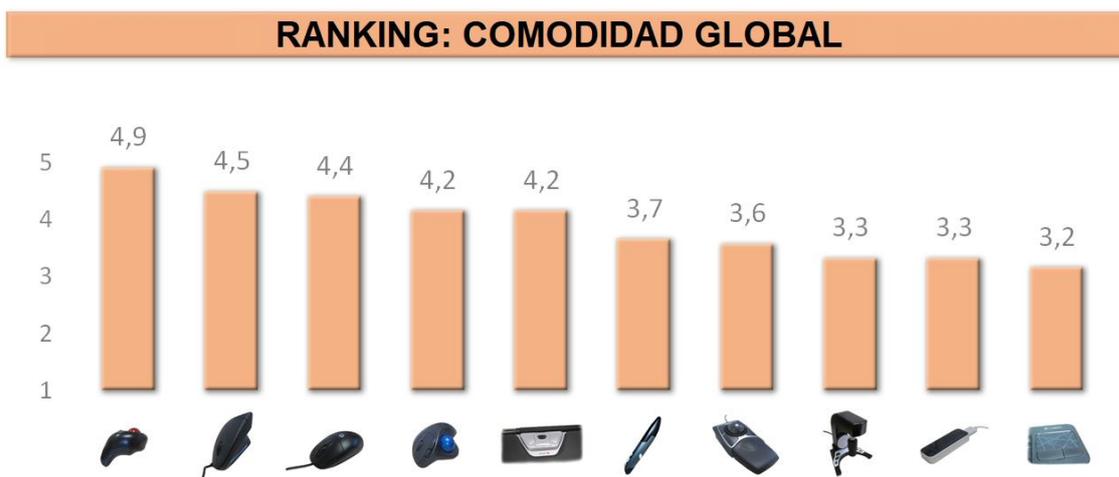


Figura 43. Ranking: comodidad global.



4.3.2. DISEÑO

Forma o concepción de cada dispositivo y su percepción por parte del participante. Vemos diferencias de igualdad de medias entre los dispositivos ($F=4,470$ $p=0,000$). Los resultados (tabla 7, figura 44) muestran al dispositivo Leap Motion como el mejor valorado y al *touchpad* como el peor, de manera estadísticamente significativa.

Tabla 7. Valores descriptivos de la valoración del diseño.

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 2,8 | 0,8 | 26,57% | 2 | 4 |
| 2 | R. Vertical | 4,3 | 0,5 | 11,92% | 4 | 5 |
| 3 | Trackball azul | 3,2 | 0,8 | 23,77% | 2 | 4 |
| 4 | Trackball negro | 3,5 | 0,8 | 23,90% | 3 | 5 |
| 5 | Touchpad | 2,8 | 0,8 | 26,57% | 2 | 4 |
| 6 | Rollermouse | 4,3 | 0,8 | 18,84% | 3 | 5 |
| 7 | Trackball rojo | 3,3 | 1,0 | 30,98% | 2 | 4 |
| 8 | Ergopointer | 4,0 | 1,1 | 27,39% | 2 | 5 |
| 9 | Lápiz | 4,5 | 0,8 | 18,59% | 3 | 5 |
| 10 | Leap motion | 4,7 | 0,5 | 11,07% | 4 | 5 |



Figura 44. *Ranking*: diseño.

4.3.3. DISPOSICIÓN DE BOTONES

Dada la diversidad de dispositivos, los botones para efectuar cada acción se ubican en posiciones o ángulos variables, presentando incluso tamaños dispares o distintos requerimientos para su pulsación. La tabla 8 evidencia la diferencia de medias encontrada ($F=6,587$ $p=0,000$), con una mejor valoración para el ratón convencional, resultando el Ergopointer como el peor evaluado en este apartado.

Tabla 8. Valores descriptivos de la valoración de la disposición de botones.

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 5,0 | 0,0 | 0,00% | 5 | 5 |
| 2 | R. Vertical | 4,8 | 0,4 | 8,45% | 4 | 5 |
| 3 | Trackball azul | 4,2 | 0,4 | 9,80% | 4 | 5 |
| 4 | Trackball negro | 4,0 | 0,9 | 22,36% | 3 | 5 |
| 5 | Touchpad | 3,3 | 0,8 | 24,49% | 3 | 5 |
| 6 | Rollermouse | 3,5 | 0,5 | 15,65% | 3 | 4 |
| 7 | Trackball rojo | 4,5 | 0,8 | 18,59% | 3 | 5 |
| 8 | Ergopointer | 2,3 | 1,0 | 44,26% | 1 | 4 |
| 9 | Lápiz | 3,0 | 1,1 | 36,51% | 2 | 5 |
| 10 | Leap motion | 4,3 | 1,2 | 27,95% | 2 | 5 |

RANKING: DISPOSICIÓN DE BOTONES

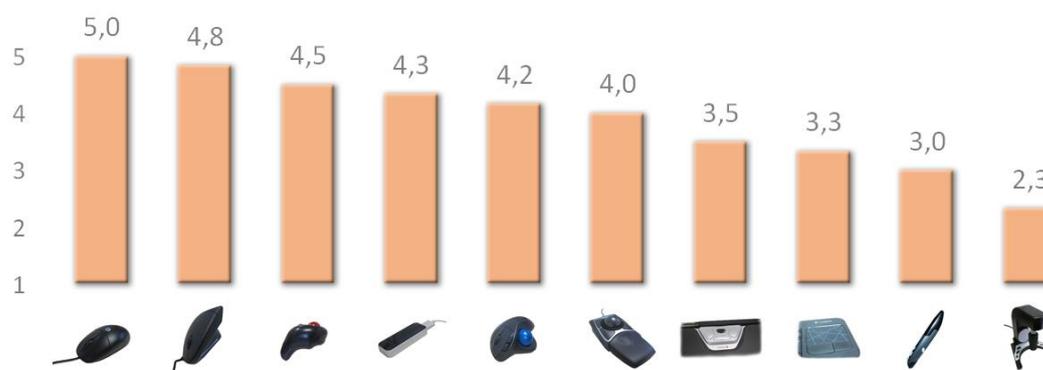


Figura 45. *Ranking*: valoración de la disposición de botones.



4.3.4. TIEMPO DE ADAPTACIÓN

Considerado para todos los dispositivos. Si bien el ratón convencional y el *touchpad* eran conocidos por todos los participantes, éstos no estaban familiarizados con el resto de dispositivos. Obsevamos diferencias estadísticamente significativas ($F=3,792$ $p=0,001$). La mejor valoración, como era de esperar, es para el ratón convencional (tabla 9) y la peor posición la ocupa el dispositivo Leap Motion.

Tabla 9. Valores descriptivos de la valoración del tiempo de adaptación.

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 5,0 | 0,0 | 0,00% | 5 | 5 |
| 2 | R. Vertical | 5,0 | 0,0 | 0,00% | 5 | 5 |
| 3 | Trackball azul | 4,0 | 0,0 | 0,00% | 4 | 4 |
| 4 | Trackball negro | 4,0 | 0,9 | 22,36% | 3 | 5 |
| 5 | Touchpad | 4,0 | 0,9 | 22,36% | 3 | 5 |
| 6 | Rollermouse | 4,2 | 0,8 | 18,07% | 3 | 5 |
| 7 | Trackball rojo | 3,7 | 0,8 | 22,27% | 3 | 5 |
| 8 | Ergopointer | 3,7 | 1,2 | 33,03% | 2 | 5 |
| 9 | Lápiz | 4,3 | 0,8 | 18,84% | 3 | 5 |
| 10 | Leap motion | 2,7 | 1,5 | 56,46% | 1 | 5 |

RANKING: TIEMPO DE ADAPTACIÓN

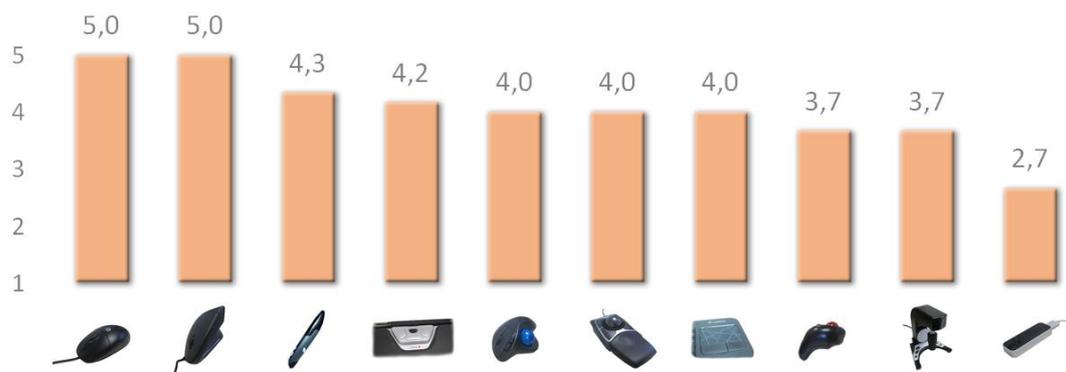


Figura 46. *Ranking*: valoración del tiempo de adaptación.

4.3.5. VERSATILIDAD

Posibilidad de utilizar el dispositivo con una y/o dos manos e incluso pulsar los botones con distintos dedos. Existieron igualmente diferencia de medias ($F=10,438$ $p=0,000$). Se observa en la tabla 10 (y figura 47) un mejor posicionamiento para el dispositivo Rollermouse, siendo la valoración del *trackball* azul la más baja.

Tabla 10. Valores descriptivos de la valoración de la versatilidad.

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 3,8 | 1,2 | 30,50% | 2 | 5 |
| 2 | R. Vertical | 2,0 | 1,5 | 77,46% | 1 | 5 |
| 3 | Trackball azul | 1,3 | 0,8 | 61,24% | 1 | 3 |
| 4 | Trackball negro | 4,3 | 0,5 | 11,92% | 4 | 5 |
| 5 | Touchpad | 4,2 | 0,8 | 18,07% | 3 | 5 |
| 6 | Rollermouse | 5,0 | 0,0 | 0,00% | 5 | 5 |
| 7 | Trackball rojo | 2,0 | 0,9 | 44,72% | 1 | 3 |
| 8 | Ergopointer | 4,2 | 1,2 | 28,06% | 2 | 5 |
| 9 | Lápiz | 3,8 | 0,4 | 10,65% | 3 | 4 |
| 10 | Leap motion | 4,5 | 1,2 | 27,22% | 2 | 5 |



Figura 47. Ranking: versatilidad.



4.3.6. PRECISIÓN

Para la valoración de la precisión se optó por estudiar la percepción cualitativa del movimiento del cursor y la consecución de objetivos. Finalmente, se obtuvo un promedio de ambos registros (tabla 13, figura 50).

4.3.6.1. MOVIMIENTO DEL CURSOR

El grado de satisfacción respecto al movimiento del cursor para cada dispositivo queda reflejado en la tabla 11 y figura 48.

Tabla 11. Valores descriptivos de la valoración del movimiento del cursor.

| | | | | | | |
|----|-----------------|-----|-----|--------|---|---|
| 1 | R. convencional | 5,0 | 0,0 | 0,00% | 5 | 5 |
| 2 | R. Vertical | 4,8 | 0,4 | 8,45% | 4 | 5 |
| 3 | Trackball azul | 3,8 | 0,8 | 19,64% | 3 | 5 |
| 4 | Trackball negro | 3,5 | 1,0 | 29,97% | 2 | 5 |
| 5 | Touchpad | 3,5 | 0,8 | 23,90% | 3 | 5 |
| 6 | Rollermouse | 4,2 | 1,0 | 23,60% | 3 | 5 |
| 7 | Trackball rojo | 3,5 | 0,8 | 23,90% | 2 | 4 |
| 8 | Ergopointer | 3,7 | 1,2 | 33,03% | 2 | 5 |
| 9 | Lápiz | 4,0 | 0,9 | 22,36% | 3 | 5 |
| 10 | Leap motion | 3,2 | 1,0 | 31,05% | 2 | 5 |

RANKING: MOVIMIENTO DEL CURSOR

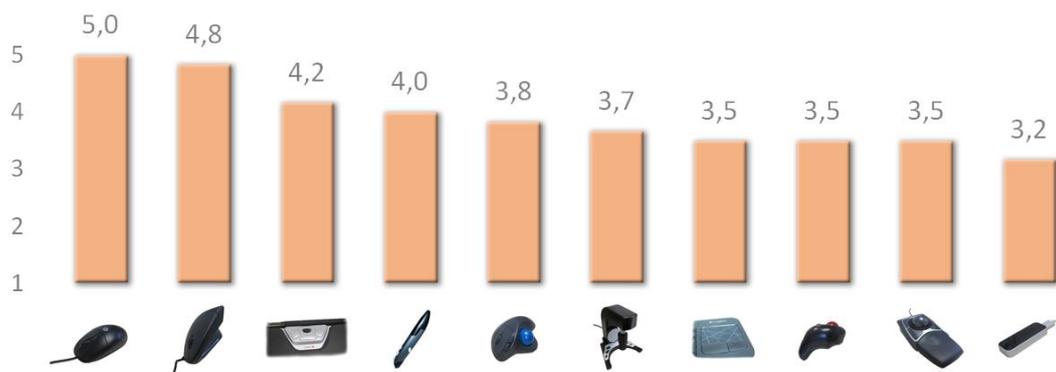


Figura 48. Ranking: movimiento del cursor.

4.3.6.2. CONSECUCIÓN DE OBJETIVOS

Encontramos cierta similitud entre la valoración del movimiento del cursor y la consecución de objetivos, representada fundamentalmente por la acción de clicar sobre un objeto concreto (tabla 12, figura 49). Las primeras posiciones las ocupan el ratón convencional, el vertical y Rollermouse y el último puesto es para el Leap Motion.

Tabla 12. Valores descriptivos de la valoración de la consecución de objetivos.

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 5,0 | 0,0 | 0,00% | 5 | 5 |
| 2 | R. Vertical | 5,0 | 0,0 | 0,00% | 5 | 5 |
| 3 | Trackball azul | 3,8 | 0,8 | 19,64% | 3 | 5 |
| 4 | Trackball negro | 3,7 | 0,5 | 14,08% | 3 | 4 |
| 5 | Touchpad | 3,8 | 0,8 | 19,64% | 3 | 5 |
| 6 | Rollermouse | 4,2 | 1,0 | 23,60% | 3 | 5 |
| 7 | Trackball rojo | 3,5 | 0,8 | 23,90% | 3 | 5 |
| 8 | Ergopointer | 3,5 | 1,0 | 29,97% | 2 | 5 |
| 9 | Lápiz | 3,7 | 1,0 | 28,17% | 2 | 5 |
| 10 | Leap motion | 3,0 | 1,4 | 47,14% | 1 | 5 |

RANKING: CONSECUCIÓN DE OBJETIVOS

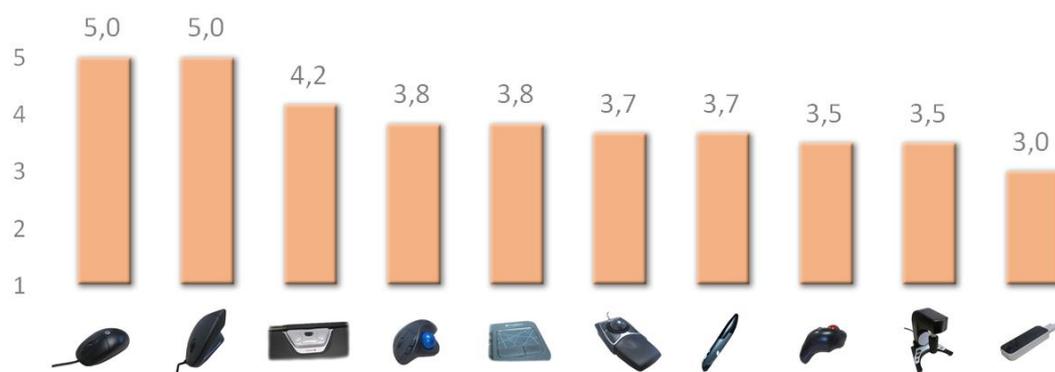


Figura 49. Ranking: consecución de objetivos.



4.3.6.3. VALORACIÓN GLOBAL DE PRECISIÓN

Como predecían los resultados desglosados, observamos entre los distintos dispositivos diferencias de igualdad de medias ($F=3,368$ $p=0,003$), siendo las mejores valoraciones en el apartado de precisión global para el ratón convencional, ratón vertical y Rollermouse, y la peor posición para el dispositivo Leap Motion (tabla 13 y figura 50).

Tabla 13. Valores descriptivos de la valoración de la precisión global.

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 5,0 | 0,0 | 0,00% | 5 | 5 |
| 2 | R. Vertical | 4,9 | 0,2 | 4,15% | 5 | 5 |
| 3 | Trackball azul | 3,8 | 0,7 | 17,82% | 3 | 5 |
| 4 | Trackball negro | 3,6 | 0,7 | 20,54% | 3 | 5 |
| 5 | Touchpad | 3,7 | 0,8 | 20,53% | 3 | 5 |
| 6 | Rollermouse | 4,2 | 1,0 | 23,60% | 3 | 5 |
| 7 | Trackball rojo | 3,5 | 0,7 | 20,20% | 3 | 5 |
| 8 | Ergopointer | 3,6 | 1,0 | 27,08% | 2 | 5 |
| 9 | Lápiz | 3,8 | 0,8 | 21,30% | 3 | 5 |
| 10 | Leap motion | 3,1 | 1,1 | 36,14% | 2 | 5 |



Figura 50. *Ranking*: valoración de la precisión.

4.3.7. PERSPECTIVA DE USO (FATIGA)

Como su nombre indica, la perspectiva de uso o fatiga se incluyó como una medida de carga o esfuerzo a largo plazo. Vemos en la tabla 14 y figura 51 los resultados de dicha valoración y, si bien observamos un mejor posicionamiento para el ratón convencional y una última posición para el lápiz óptico, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de cada uno de los dispositivos.

Tabla 14. Valores descriptivos de la perspectiva de uso.

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 4,7 | 0,5 | 11,07% | 4 | 5 |
| 2 | R. Vertical | 4,5 | 0,5 | 12,17% | 4 | 5 |
| 3 | Trackball azul | 4,0 | 1,1 | 27,39% | 2 | 5 |
| 4 | Trackball negro | 4,0 | 0,6 | 15,81% | 3 | 5 |
| 5 | Touchpad | 3,7 | 0,8 | 22,27% | 3 | 5 |
| 6 | Rollermouse | 4,3 | 0,5 | 11,92% | 4 | 5 |
| 7 | Trackball rojo | 3,8 | 0,4 | 10,65% | 3 | 4 |
| 8 | Ergopointer | 4,0 | 0,9 | 22,36% | 3 | 5 |
| 9 | Lápiz | 3,2 | 1,5 | 46,48% | 1 | 5 |
| 10 | Leap motion | 3,5 | 0,5 | 15,65% | 3 | 4 |



Figura 51. *Ranking*: perspectiva de uso.



4.3.8. SATISFACCIÓN GENERAL

Grado global de satisfacción con cada dispositivo (tabla 15, figura 52). Identificamos diferencias de igualdad de medias ($F=5,052$ $p=0,000$). Se aprecia una mejor valoración para el ratón convencional y un último puesto para el dispositivo Leap Motion.

Tabla 15. Valores descriptivos de la satisfacción general.

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 5,0 | 0,0 | 0,00% | 5 | 5 |
| 2 | R. Vertical | 5,0 | 0,0 | 0,00% | 5 | 5 |
| 3 | Trackball azul | 3,2 | 1,0 | 31,05% | 2 | 4 |
| 4 | Trackball negro | 3,5 | 1,0 | 29,97% | 2 | 5 |
| 5 | Touchpad | 3,2 | 0,8 | 23,77% | 2 | 4 |
| 6 | Rollermouse | 4,0 | 0,9 | 22,36% | 3 | 5 |
| 7 | Trackball rojo | 3,8 | 0,8 | 19,64% | 3 | 5 |
| 8 | Ergopointer | 3,2 | 1,0 | 31,05% | 2 | 4 |
| 9 | Lápiz | 3,5 | 0,8 | 23,90% | 2 | 4 |
| 10 | Leap motion | 3,0 | 0,9 | 29,81% | 2 | 4 |



Figura 52. Ranking: satisfacción general.

4.4. APLICACIÓN WEB DE LA LEY DE FITTS

Se presentan los resultados del test de Fitts *online* de manera global, en milisegundos (tabla 16), y los tiempos medios por ejercicio (Fitts 1/Fitts 2). También se muestran las desviaciones típicas y rangos, así como un *ranking* o clasificación del sumatorio de los ejercicios (figura 53). Se refleja el grado de precisión alcanzado con cada dispositivo (a menor tiempo, mayor precisión). Los resultados fueron estadísticamente significativos ($F=87,551$ $p=0,000$).

Tabla 16. Valores descriptivos de los resultados del test de Fitts *online*.

| | Global | Medias | Desv. Típica | Mínimo | Máximo |
|-------------------|--------|-----------|--------------|-----------|-----------|
| 1 R. convencional | 1566 | 735/831 | 27/54 | 699/726 | 775/881 |
| 2 R. Vertical | 2025 | 1003/1022 | 402/88 | 724/916 | 1808/1129 |
| 3 Trackball azul | 2378 | 1079/1299 | 45/68 | 1028/1204 | 1154/1389 |
| 4 Trackball negro | 2226 | 994/1232 | 90/62 | 827/1174 | 1080/1351 |
| 5 Touchpad | 2807 | 1274/1533 | 159/113 | 996/1387 | 1436/1696 |
| 6 Rollermouse | 1987 | 849/1138 | 39/74 | 814/1039 | 912/1223 |
| 7 Trackball rojo | 2954 | 1221/1733 | 92/157 | 1146/1536 | 1404/1931 |
| 8 Ergopointer | 3377 | 1149/2228 | 76/157 | 1053/2047 | 1247/2437 |
| 9 Lapiz | 1725 | 830/895 | 36/31 | 790/862 | 889/934 |
| 10 Leap motion | 3747 | 1566/2181 | 95/203 | 1468/1972 | 1700/2508 |



Figura 53. *Ranking*: resultados del test Fitts *online* (1+2), en milisegundos. Se muestra en color claro la parte correspondiente al ejercicio 1 (Fitts 1) y en color oscuro el tiempo del ejercicio 2 (Fitts 2).



4.5. CUESTIONARIO NASA-TLX

Se presentan los resultados del test de carga mental NASA-TLX de manera global. Al encontrar un grado de concordancia de entre los resultados no ponderados y los ponderados del 97,7%, consideramos representar en la tabla 17 y figura 54 los resultados de los registros no ponderados.

Tabla 17. Valores descriptivos de la carga mental NASA-TLX.

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 15,8 | 1,8 | 12,63% | 13,3 | 18,3 |
| 2 | R. Vertical | 15,3 | 2,0 | 15,26% | 11,7 | 16,7 |
| 3 | Trackball azul | 32,2 | 11,1 | 43,35% | 21,7 | 50,0 |
| 4 | Trackball negro | 30,0 | 11,9 | 56,39% | 15,0 | 48,3 |
| 5 | Touchpad | 31,6 | 14,3 | 67,69% | 15,0 | 50,0 |
| 6 | Rollermouse | 25,0 | 1,8 | 8,65% | 21,7 | 26,7 |
| 7 | Trackball rojo | 30,5 | 17,2 | 67,45% | 13,3 | 63,3 |
| 8 | Ergopointer | 44,5 | 10,4 | 28,77% | 30,0 | 56,7 |
| 9 | Lápiz | 23,6 | 8,9 | 45,56% | 15,0 | 31,7 |
| 10 | Leap motion | 48,6 | 15,7 | 40,85% | 23,3 | 65,0 |

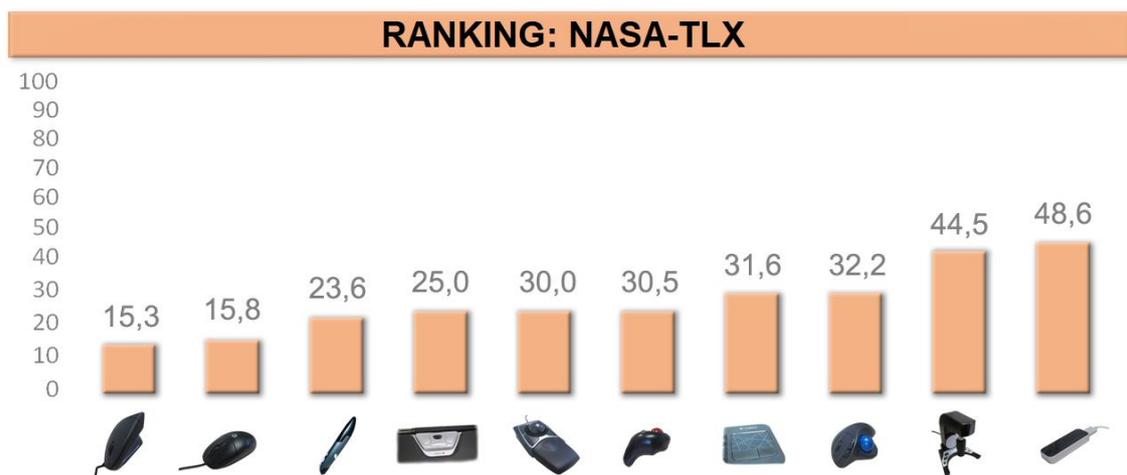


Figura 54. Ranking: NASA-TLX.

A continuación, se presentan de manera desglosada las distintas dimensiones, con los valores medios y desviaciones típicas para cada dispositivo (tabla 18). La representación gráfica (figuras 55 y 56) la mostramos desglosada en sus dimensiones, por una parte, aquellas relacionadas con las demandas impuestas a la persona: exigencia mental, física y temporal (figura 55) y, seguidamente, las referidas a la interacción de la persona con la tarea; esto es, esfuerzo, frustración y rendimiento (figura 56).

Tabla 18. Valores medios de la carga mental de trabajo por dimensión y dispositivo.

| | | Mental | Físico | Temporal | Esfuerzo | Rendimiento | Frustración |
|----|-----------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | R. convencional | 10 (0) | 15 (± 8,36) | 16,67 (± 8,16) | 18,33 (± 4,08) | 23,33 (± 8,16) | 11,67 (± 4,08) |
| 2 | R. Vertical | 10 (0) | 15 (± 8,36) | 13,33 (± 5,16) | 16,67 (± 5,16) | 23,33 (± 10,32) | 13,33 (± 5,16) |
| 3 | Trackball azul | 36,67 (±20,65) | 25 (± 13,78) | 31,67 (± 23,17) | 33,33 (± 13,66) | 45 (± 5,17) | 38,33 (± 18,35) |
| 4 | Trackball negro | 16,67 (± 5,16) | 16,67 (± 8,16) | 30 (± 20,97) | 30 (± 10,95) | 48,33 (± 16,02) | 38,33 (± 29,27) |
| 5 | Touchpad | 20 (±12,64) | 23,33 (± 19,67) | 28,33 (± 21,37) | 30 (± 10,95) | 51,67 (± 25,63) | 45 (± 28,81) |
| 6 | Rollermouse | 21,67 (± 7,52) | 20 (± 8,94) | 21,67 (± 7,53) | 20 (± 6,32) | 38,33 (± 13,29) | 28,33 (± 7,53) |
| 7 | Trackball rojo | 18,33 (± 9,83) | 31,67 (± 30,60) | 26,67 (± 16,33) | 38,33 (± 26,39) | 38,33 (± 19,41) | 30 (± 17,89) |
| 8 | Ergopointer | 36,67 (±20,65) | 20 (± 8,94) | 51,67 (± 24,83) | 38,33 (± 14,72) | 63,33 (± 10,32) | 56,67 (± 22,51) |
| 9 | Lápiz | 15 (± 8,36) | 21,67 (± 16,02) | 21,67 (± 11,70) | 23,33 (± 12,11) | 31,67 (± 11,69) | 28,33 (± 14,72) |
| 10 | Leap motion | 36,67 (±20,65) | 35 (± 20,73) | 50 (± 27,57) | 53,33 (± 28,05) | 55 (± 28,11) | 68,33 (± 23,17) |

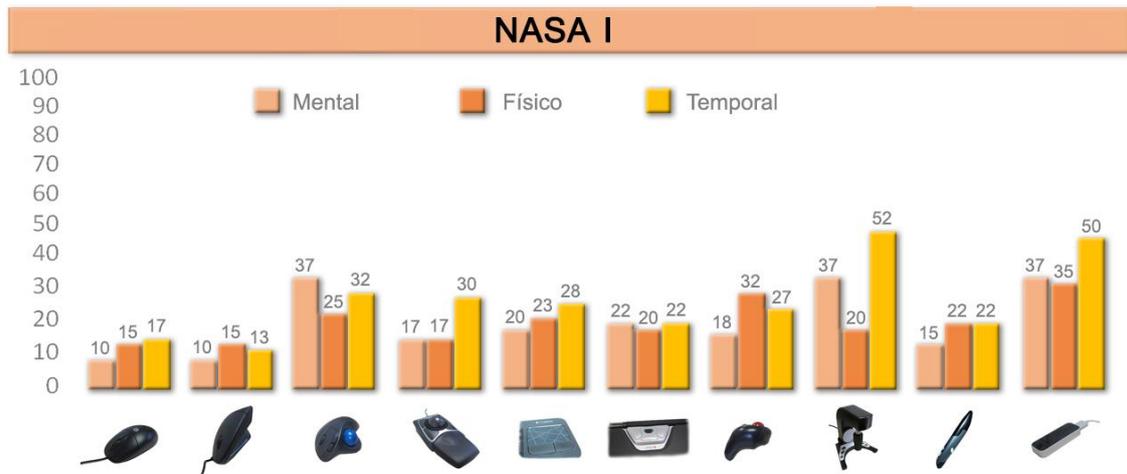


Figura 55. NASA-TLX I. Valores medios de las dimensiones mental, física y temporal.

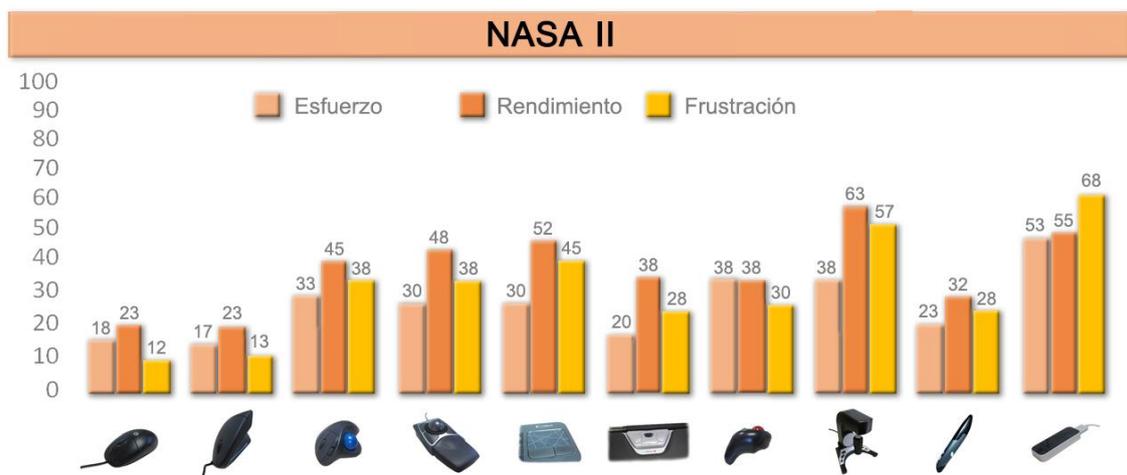


Figura 56. NASA-TLX II. Valores medios de las dimensiones esfuerzo, rendimiento y frustración.

Al no aceptarse la igualdad de varianzas mediante el test de Levene ($p < 0.05$), se efectuaron comparaciones múltiples *post hoc* mediante la prueba de Games-Howell ($F=5,765$ $p=0,000$). La diferencia de medias fue más significativa con el ratón vertical, RollerMouse, Ergopointer y Leap Motion, que con el resto de dispositivos.

4.6. MOUSOTRON

Mostramos los datos registrados por el *software* Mousotron referidos al tiempo de ejecución del ejercicio, pulsaciones (clic izquierdo), desplazamientos y movimientos con la rueda o *scroll*.

4.6.1. TIEMPO DE EJECUCIÓN

Se muestran en la tabla 19 los registros medios de tiempo (en segundos), así como las desviaciones típicas, coeficientes de variación y rangos para cada dispositivo.

Tabla 19. Valores descriptivos del tiempo invertido (en segundos) en la realización del ejercicio.

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 194,8 | 41,6 | 21,33% | 161 | 272 |
| 2 | R. Vertical | 189,7 | 28,6 | 15,07% | 172 | 247 |
| 3 | Trackball azul | 218,5 | 47,7 | 21,82% | 151 | 284 |
| 4 | Trackball negro | 206,2 | 19,2 | 9,31% | 181 | 234 |
| 5 | Touchpad | 293,0 | 74,5 | 25,43% | 229 | 422 |
| 6 | Rollermouse | 238,5 | 52,5 | 22,01% | 195 | 328 |
| 7 | Trackball rojo | 260,5 | 42,3 | 16,23% | 217 | 318 |
| 8 | Ergopointer | 339,5 | 55,5 | 16,34% | 300 | 413 |
| 9 | Lápiz | 253,2 | 72,9 | 28,78% | 171 | 388 |
| 10 | Leap motion | 478,0 | 235,1 | 49,18% | 249 | 870 |



Figura 57. Ranking: Tiempo medio en ejecutar el ejercicio.



Hubo diferencias estadísticamente significativas en los tiempos de ejecución ($F=5,806$ $p=0,000$), siendo mayores entre el ratón vertical y los dispositivos Ergopointer y Leap Motion. Sin embargo, no observamos diferencias tan acusadas entre los 5 primeros dispositivos del *ranking*.

4.6.2. PULSACIONES

Las pulsaciones efectuadas o clics del botón izquierdo se muestran en la tabla 20, objetivando unos mejores resultados para el ratón vertical, seguido del convencional (figura 58).

Tabla 20. Valores descriptivos de las pulsaciones (clic izquierdo).

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 63,8 | 14,7 | 23,01% | 41 | 80 |
| 2 | R. Vertical | 62,5 | 20,5 | 32,83% | 41 | 91 |
| 3 | Trackball azul | 68,3 | 24,2 | 35,36% | 47 | 101 |
| 4 | Trackball negro | 73,8 | 35,2 | 47,69% | 38 | 126 |
| 5 | Touchpad | 100,2 | 31,9 | 31,80% | 52 | 136 |
| 6 | Rollermouse | 90,5 | 44,9 | 49,59% | 46 | 161 |
| 7 | Trackball rojo | 65,0 | 21,0 | 32,30% | 46 | 96 |
| 8 | Ergopointer | 97,5 | 25,0 | 25,64% | 59 | 132 |
| 9 | Lápiz | 71,8 | 30,3 | 42,12% | 46 | 114 |
| 10 | Leap motion | 94,5 | 22,4 | 23,67% | 63 | 129 |



Figura 58. *Ranking*: pulsaciones (clic izquierdo).

4.6.3. DESPLAZAMIENTO

Los desplazamientos, medidos en centímetros (véase tabla 2 para un mejor entendimiento) se muestran en la tabla 21 (valores medios, desviaciones típicas, coeficientes de variación y rangos).

Tabla 21. Valores descriptivos de las distancias convertidas (en centímetros).

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|-----------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 481,5 | 64,9 | 13,48% | 410 | 589 |
| 2 | R. Vertical | 301,4 | 52,7 | 17,49% | 248 | 401 |
| 3 | Trackball azul | 730,9 | 165,9 | 22,70% | 529 | 949 |
| 4 | Trackball negro | 959,3 | 191,0 | 19,91% | 748 | 1.304 |
| 5 | Touchpad | Sin datos | | | | |
| 6 | Rollermouse | 539,8 | 175,4 | 32,49% | 345 | 788 |
| 7 | Trackball rojo | 569,9 | 105,6 | 18,54% | 440 | 742 |
| 8 | Ergopointer | 642,4 | 86,6 | 13,48% | 528 | 746 |
| 9 | Lápiz | 450,3 | 64,2 | 14,26% | 452 | 621 |
| 10 | Leap motion | 4042,9 | 1161,1 | 28,72% | 2.964 | 6.243 |

RANKING: DESPLAZAMIENTOS



Figura 59. Ranking: desplazamientos (en centímetros).



No pudo realizarse la conversión de distancias recorridas para el dispositivo *touchpad* a consecuencia de su comportamiento variable en función de la velocidad, por ello queda fuera del *ranking* mostrado en la figura 59.

4.6.4. MOVIMIENTOS CON LA RUEDA

Los valores obtenidos para el movimiento con la rueda o *scroll*, se muestran en la tabla 22 y figura 60.

Tabla 22. Valores descriptivos de los movimientos con la rueda (*scroll*).

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 2120,0 | 401,7 | 18,95% | 1566 | 2638 |
| 2 | R. Vertical | 2106,7 | 298,4 | 14,16% | 1809 | 2588 |
| 3 | Trackball azul | 1906,2 | 303,2 | 15,91% | 1461 | 2200 |
| 4 | Trackball negro | 2133,7 | 563,6 | 26,42% | 1601 | 3079 |
| 5 | Touchpad | 1084,3 | 28,8 | 2,65% | 1042 | 1129 |
| 6 | Rollermouse | 4287,3 | 1420,5 | 33,13% | 2988 | 6562 |
| 7 | Trackball rojo | 1189,3 | 161,2 | 13,56% | 1026 | 1365 |
| 8 | Ergopointer | 9810,8 | 823,9 | 8,40% | 8619 | 10712 |
| 9 | Lápiz | 1353,8 | 217,9 | 16,09% | 976 | 1548 |
| 10 | Leap motion | 8960,5 | 1748,3 | 19,51% | 6986 | 12155 |



Figura 60. *Ranking*: rueda o *scroll*.

A diferencia de los valores registrados de pulsaciones, en los que no se observaron diferencias estadísticamente significativas, los movimientos con la rueda si fueron estadísticamente significativos entre los distintos dispositivos ($F=96,898$ $p=0,000$). Observamos un mejor posicionamiento para el touchpad y el *trackball* rojo, situándose el Leap Motion y el Ergopointer en las últimas posiciones.

4.6.5. MOUSOTRON FÍSICO

Con el fin de sintetizar y mostrar gráficamente el comportamiento de los distintos dispositivos de entrada en relación a los registros con el *software* Mousotron, elaboramos un *ranking* en base a la puntuación media de los dispositivos (figura 61).



Figura 61. *Ranking*: Mousotron físico.



4.7. ELECTROMIOGRAFÍA

4.7.1. ACTIVIDAD ELÉCTRICA EN REPOSO

La tabla 23 muestra los valores descriptivos de la actividad electromiográfica en reposo, en milivoltios, de los músculos a estudio: aductor del pulgar (AP), extensor largo del pulgar (ELP), extensor común de los dedos (ECD), flexor común de los dedos (FCD), deltoides medio (DM), trapecio superior (TS) y trapecio medio (TM). Se observan unos registros bajos, del orden de milésimas de milivoltio, con una menor actividad registrada para el flexor común de los dedos y una mayor actividad para el trapecio superior.

Tabla 23. Valores descriptivos electromiográficos en reposo.

| | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|-----|--------|--------------|--------|--------|--------|
| AP | 0,0032 | 0,0015 | 47,42% | 0,0015 | 0,0052 |
| ELP | 0,0090 | 0,0056 | 62,17% | 0,0030 | 0,0172 |
| ECD | 0,0065 | 0,0042 | 64,35% | 0,0030 | 0,0127 |
| FCD | 0,0026 | 0,0020 | 76,62% | 0,0007 | 0,0062 |
| DM | 0,0042 | 0,0030 | 73,24% | 0,0015 | 0,0085 |
| TS | 0,0124 | 0,0095 | 77,29% | 0,0015 | 0,0277 |
| TM | 0,0051 | 0,0021 | 40,81% | 0,0022 | 0,0082 |

ACTIVIDAD ELÉCTRICA REPOSO

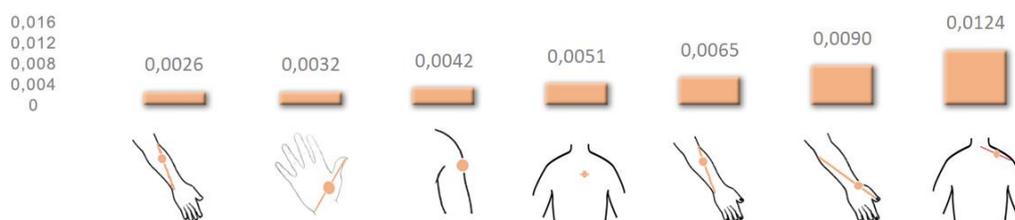


Figura 62. Actividad electromiográfica en reposo.

4.7.2. CONTRACCIÓN VOLUNTARIA MÁXIMA

En la tabla 24 se muestran los valores electromiográficos (en milivoltios) obtenidos durante la realización de la prueba de fuerza con el dinamómetro manual o contracción voluntaria máxima (CVM). El valor registrado más alto es el representado por el músculo extensor común de los dedos, siendo el que menos actividad tiene el trapecio superior.

Tabla 24. Valores descriptivos electromiográficos durante la contracción voluntaria máxima.

| | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|-----|--------|--------------|--------|--------|--------|
| AP | 0,2829 | 0,1635 | 57,80% | 0,1035 | 0,6157 |
| ELP | 0,1139 | 0,0463 | 40,66% | 0,0487 | 0,1942 |
| ECD | 0,2970 | 0,1780 | 59,94% | 0,1200 | 0,6712 |
| FCD | 0,0961 | 0,0517 | 53,75% | 0,0510 | 0,2077 |
| DM | 0,0354 | 0,0242 | 68,50% | 0,0075 | 0,0705 |
| TS | 0,0186 | 0,0115 | 61,91% | 0,0030 | 0,0412 |
| TM | 0,0281 | 0,0215 | 76,49% | 0,0088 | 0,0712 |

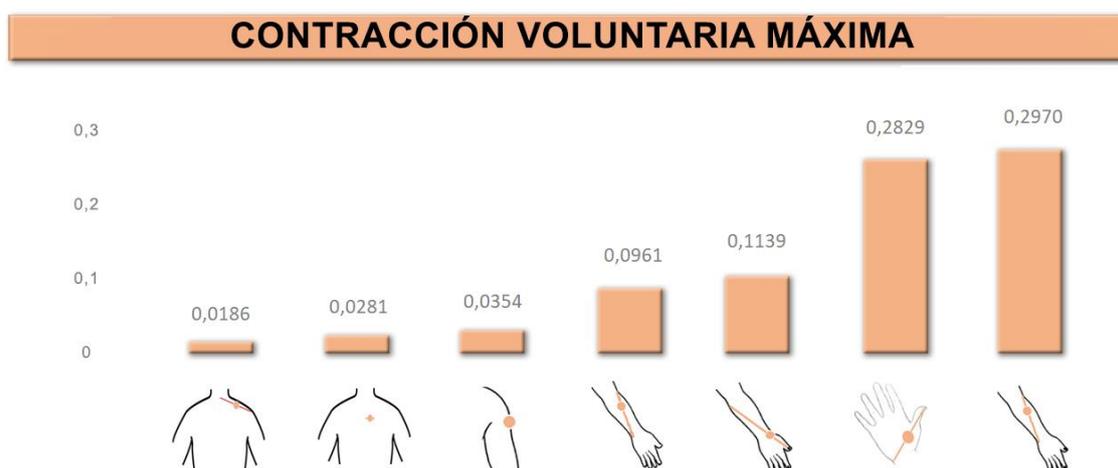


Figura 63. Actividad electromiográfica durante la prueba de contracción voluntaria máxima (mV).



4.7.3. ACTIVIDAD ELÉCTRICA DURANTE EL EJERCICIO

Se presentan los resultados, en milivoltios, de la actividad electromiográfica media, en valores absolutos, durante la ejecución del ejercicio del manejo de la matriz tisular digitalizada (tabla 25). Observamos diferencia de medias de actividad eléctrica de manera significativa ($F=5,153$ $p<0,001$), con una menor actividad media utilizando el Rollermouse, y siendo la mayor registrada la correspondiente al *touchpad*.

Tabla 25. Valores descriptivos de la actividad electromiográfica durante el ejercicio.

| | | Medias | Desv. Típica | CV (%) | Mínimo | Máximo |
|----|-----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| 1 | R. convencional | 0,1251 | 0,0446 | 35,67% | 0,0770 | 0,1780 |
| 2 | R. Vertical | 0,1312 | 0,0357 | 27,21% | 0,0800 | 0,1800 |
| 3 | Trackball azul | 0,1053 | 0,0358 | 34,03% | 0,0820 | 0,1770 |
| 4 | Trackball negro | 0,1845 | 0,0400 | 21,69% | 0,1420 | 0,2450 |
| 5 | Touchpad | 0,2560 | 0,1158 | 45,24% | 0,1440 | 0,4420 |
| 6 | Rollermouse | 0,1027 | 0,0376 | 36,63% | 0,0610 | 0,1570 |
| 7 | Trackball rojo | 0,2442 | 0,0909 | 37,22% | 0,1740 | 0,4090 |
| 8 | Ergopointer | 0,1151 | 0,0338 | 29,40% | 0,0790 | 0,1720 |
| 9 | Lápiz | 0,1717 | 0,0663 | 38,62% | 0,1090 | 0,2620 |
| 10 | Leap motion | 0,1803 | 0,0334 | 18,55% | 0,1430 | 0,2300 |

RANKING: ACTIVIDAD ELÉCTRICA ABSOLUTA



Figura 64. *Ranking*: Actividad eléctrica absoluta (mV) durante el ejercicio. Se representan en los extremos los valores medios de reposo y del registro durante la contracción voluntaria máxima (CVM).

4.7.3.1. ACTIVIDAD ELÉCTRICA RELATIVA DURANTE EL EJERCICIO

La actividad electromiográfica relativa la consideramos con respecto a la registrada durante el reposo. El incremento o porcentaje de variación respecto al mismo queda reflejado en la tabla 26 y representado gráficamente en la figura 65. De este modo, por ejemplo, podemos observar que el *trackball* azul requiere un incremento del 176,83% de la actividad electromiográfica respecto al estado de reposo.

Tabla 26. Valores descriptivos de la actividad electromiográfica relativa respecto del reposo.

| | | % Variación |
|----|-----------------|----------------|
| 1 | R. convencional | 227,86% |
| 2 | R. Vertical | 244,20% |
| 3 | Trackball azul | 176,83% |
| 4 | Trackball negro | 369,26% |
| 5 | Touchpad | 593,23% |
| 6 | Rollermouse | 180,99% |
| 7 | Trackball rojo | 539,00% |
| 8 | Ergopointer | 204,68% |
| 9 | Lápiz | 322,96% |
| 10 | Leap motion | 358,89% |



Figura 65. Actividad electromiográfica relativa respecto al reposo.



4.7.4. ACTIVIDAD ELÉCTRICA POR GRUPOS

Se describen a continuación los resultados electromiográficos en valores absolutos (tabla 27), en milivoltios, agrupándolos en aquella musculatura considerada como “distal”, que engloba a los músculos aductor del pulgar (AP), extensor largo del pulgar (ELP), extensor común de los dedos (ECD) y flexor común de los dedos (FCD), y a la considerada como “proximal”, considerando a los músculos deltoides medio (DM), trapecio superior (TS) y trapecio medio (TM). Vemos en la figura 66 cómo, para todos los dispositivos, la mayor actividad fue registrada en la musculatura distal.

Tabla 27. Valores descriptivos de actividad electromiográfica por grupos.

| | | Distal | | Proximal | |
|----|-----------------|--------|--------|----------|--------|
| | | Media | DT | Media | DT |
| 1 | R. convencional | 0,1077 | 0,0476 | 0,0175 | 0,0079 |
| 2 | R. Vertical | 0,1116 | 0,0420 | 0,0197 | 0,0096 |
| 3 | Trackball azul | 0,0950 | 0,0346 | 0,0104 | 0,0025 |
| 4 | Trackball negro | 0,1503 | 0,0433 | 0,0342 | 0,0143 |
| 5 | Touchpad | 0,2180 | 0,1099 | 0,0380 | 0,0173 |
| 6 | Rollermouse | 0,0832 | 0,0397 | 0,0194 | 0,0060 |
| 7 | Trackball rojo | 0,2269 | 0,0887 | 0,0174 | 0,0046 |
| 8 | Ergopointer | 0,0865 | 0,0368 | 0,0286 | 0,0101 |
| 9 | Lápiz | 0,1280 | 0,0637 | 0,0437 | 0,0155 |
| 10 | Leap motion | 0,1396 | 0,0468 | 0,0407 | 0,0186 |



Figura 66. Actividad electromiográfica absoluta por grupos (mV). Se representa el *ranking* en función del grupo distal.

4.7.5. MÚSCULO-ESPECÍFICO POR DISPOSITIVO

La tabla 28 muestra los valores electromiográficos medios y desviaciones típicas, en milivoltios, de cada músculo y para cada dispositivo (valores absolutos). Se observa globalmente, para todos los dispositivos, una mayor actividad del músculo aductor del pulgar (AP) durante el ejercicio, compartida en el *trackball* azul con el extensor largo del pulgar (ELP) y en el Rollermouse con el extensor común de los dedos (ECD). Igualmente, se observa para todos los dispositivos una menor actividad con los músculos considerados como “proximales”, esto es, el deltoides medio (DM) y trapecios superior y medio (TS y TM), y con el flexor común de los dedos (FCD), pero principalmente con el deltoides medio que es el músculo que menor actividad registra.

Tabla 28. Valores descriptivos electromiográficos absolutos medios por músculo y dispositivo.

| | | AP | ELP | ECD | FCD | DM | TS | TM |
|----|----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | R. conv. | 0,0459 (±0,0266) | 0,0273 (±0,0222) | 0,0190 (±0,0094) | 0,0155 (±0,0123) | 0,0046 (±0,0025) | 0,0070 (±0,0051) | 0,0059 (±0,0039) |
| 2 | R. Vert. | 0,0583 (±0,0244) | 0,0232 (±0,0160) | 0,0187 (±0,0099) | 0,0113 (±0,0089) | 0,0035 (±0,0018) | 0,0077 (±0,0055) | 0,0085 (±0,0048) |
| 3 | T. azul | 0,0395 (±0,0139) | 0,0305 (±0,0228) | 0,0184 (±0,0100) | 0,0066 (±0,0033) | 0,0029 (±0,0020) | 0,0040 (±0,0031) | 0,0035 (±0,0010) |
| 4 | T. negro | 0,0737 (±0,0143) | 0,0350 (±0,0269) | 0,0273 (±0,0146) | 0,0143 (±0,0062) | 0,0100 (±0,0049) | 0,0137 (±0,0092) | 0,0105 (±0,0047) |
| 5 | Touchp. | 0,1310 (±0,0869) | 0,0396 (±0,0313) | 0,0283 (±0,0185) | 0,0191 (±0,0133) | 0,0071 (±0,0046) | 0,0142 (±0,0290) | 0,0167 (±0,0129) |
| 6 | Rollerm. | 0,0223 (±0,0175) | 0,0189 (±0,0127) | 0,0232 (±0,0106) | 0,0189 (±0,0105) | 0,0045 (±0,0023) | 0,0077 (±0,0043) | 0,0072 (±0,0044) |
| 7 | T. rojo | 0,1318 (±0,0439) | 0,0517 (±0,0334) | 0,0271 (±0,0185) | 0,0162 (±0,0091) | 0,0031 (±0,0011) | 0,0061 (±0,0042) | 0,0082 (±0,0052) |
| 8 | Ergop. | 0,0302 (±0,0264) | 0,0237 (±0,0104) | 0,0224 (±0,0084) | 0,0101 (±0,0042) | 0,0043 (±0,0028) | 0,0142 (±0,100) | 0,0101 (±0,0035) |
| 9 | Lápiz | 0,0761 (±0,0538) | 0,0221 (±0,0167) | 0,0226 (±0,0105) | 0,0072 (±0,0037) | 0,0064 (±0,0034) | 0,0191 (±0,0049) | 0,0182 (±0,0148) |
| 10 | Leap | 0,0819 (±0,0273) | 0,0272 (±0,0190) | 0,0223 (±0,0070) | 0,0082 (±0,0022) | 0,0082 (±0,0040) | 0,0174 (±0,0120) | 0,0151 (±0,0049) |



Al observar los valores relativizados respecto de la situación electromiográfica en reposo o porcentajes de incremento (tabla 29), vemos unos resultados que posicionan al músculo aductor del pulgar como el que mayor actividad desarrolla durante la ejecución del ejercicio. Igualmente, vemos una actividad relativa menor con el dispositivo Ergopointer, pero en dicho dispositivo hay que destacar que la pulsación del botón principal era realizada con la mano contralateral, aspecto relevante a considerar.

Identificamos también una actividad baja de los músculos considerados como proximales de manera general y en particular en aquellos *trackballs* controlados por el pulgar (azul y rojo), con unos valores por debajo de la media, sobre todo, el azul.

Destacan, igualmente unos valores por encima de la media para el músculo trapecio superior en los dispositivos Leap Motion y, sobre todo, en el lápiz óptico.

Tabla 29. Valores electromiográficos relativos medios (% de incremento respecto al reposo) por músculo y dispositivo.

| | | AP | ELP | ECD | FCD | DM | TS | TM |
|----|-------------|------------------------|---------------|---------------|------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 1 | R. conv. | 1793 (±1633) | 286 (±237) | 281 (±255) | 1017 (±1196) | 48 (±91) | 91 (±58) | 42 (±114) |
| 2 | R. Vert. | 2022 (±1125) | 210 (±202) | 299 (±327) | 628 (±713) | 24 (±89) | 37 (±192) | 110 (±176) |
| 3 | T. azul | 1602 (±1428) | 358 (±411) | 304 (±387) | 398 (±609) | 97 (±95) | 60 (±47) | 77 (±35) |
| 4 | T. negro | 2753 (±1661) | 393 (±423) | 496 (±578) | 891 (±935) | 281 (±411) | 49 (±88) | 166 (±260) |
| 5 | Touchp. | 4475 (±3503) | 468 (±504) | 544 (±705) | 1114 (±1058) | 183 (±250) | 193 (±403) | 389 (±588) |
| 6 | Rollerm. | 760 (±965) | 199 (±288) | 426 (±466) | 1143 (±1112) | 64 (±139) | 20 (±110) | 102 (±252) |
| 7 | T. rojo | 5790 (±5062) | 692 (±738) | 516 (±580) | 917 (±754) | 2 (±52) | 4 (±92) | 135 (±274) |
| 8 | Ergop. | 797 (±519) | 296 (±297) | 367 (±278) | 564 (±580) | 79 (±227) | 50 (±65) | 148 (±161) |
| 9 | Lápiz | 2272 (±1619) | 222 (±219) | 375 (±341) | 469 (±699) | 141 (±193) | 289 (±446) | 430 (±647) |
| 10 | Leap | 3081 (±2349) | 310 (±322) | 366 (±329) | 456 (±448) | 221 (±344) | 124 (±177) | 271 (±261) |
| | Valor medio | 2535 | 343 | 397 | 760 | 104 | 72 | 177 |

4.8. RANKING GLOBAL

Del total de variables estudiadas, decidimos realizar una clasificación jerarquizada o *ranking* global, incluyendo aquellas variables que consideramos fundamentales cuando analizamos un dispositivo de entrada desde el punto de vista ergonómico, y teniendo como objetivo el optimizar la eficacia, la seguridad y el bienestar del usuario, adecuándose a la labor a realizar. Dichas variables fueron las valoraciones de la **precisión**, la **comodidad** y la **satisfacción general**, así como los registros del “**Mousotron físico**”, el tiempo del **test de Fitts**, el **tiempo de ejecución** del ejercicio, la **carga mental NASA-TLX** y el **registro electromiográfico relativo**.

La valoración global, mostrada en la tabla 30, toma unos valores entre 1 y 10 y refleja la media de las posiciones obtenidas en los distintos análisis realizados. Vemos que el ratón convencional se sitúa en primera posición por tener menor grado de dispersión que el ratón vertical (coeficiente de variación: 13,69% frente a 15,89%).

Tabla 30. *Ranking* global.

| | | |
|-----|--------------------|------|
| 1º | Ratón convencional | 8,75 |
| 2º | Ratón vertical | 8,75 |
| 3º | Rollermouse | 7 |
| 4º | Lápiz óptico | 6,38 |
| 5º | Trackball azul | 6,13 |
| 6º | Trackball rojo | 5,25 |
| 7º | Trackball negro | 5 |
| 8º | Touchpad | 3,38 |
| 9º | Ergopointer | 3 |
| 10º | Leap Motion | 1,5 |



Figura 67. *Ranking* global.



4.9. CORRELACIONES

4.9.1. Correlación entre los tiempos

Cuando estudiamos los tiempos obtenidos realizando el test de Fitts (en milisegundos) y los procedentes de la ejecución del ejercicio con la preparación tisular digitalizada (en segundos), vemos que existe una correlación estadísticamente significativa ($p < 0,05$), con un coeficiente de correlación de Pearson de 0,578, de relación directa, es decir, que aquellos dispositivos que han obtenido unos tiempos menores con el test de Fitts, también han obtenido mejores tiempos durante la ejecución del ejercicio (figura 68). Por ello, podemos considerar como válida nuestra propuesta de ejercicio estandarizado para la evaluación de dispositivos en un entorno de imagen histológica digitalizada.

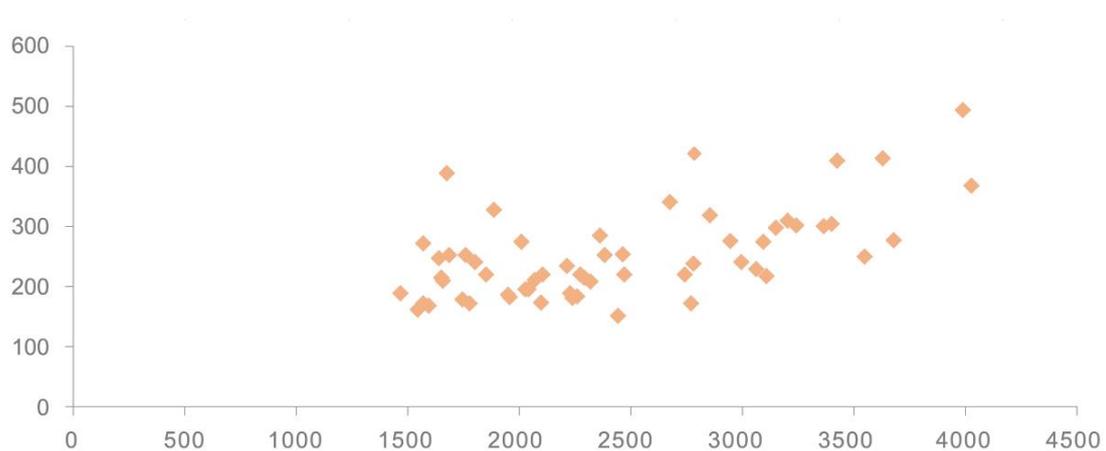


Figura 68. Nube de puntos de la relación entre tiempos. Se observan en el eje de las ordenadas los tiempos del ejercicio (en segundos) y en el de abscisas los tiempos del test de Fitts (en milisegundos).

4.9.2. Correlación entre la valoración de la precisión global y los tiempos

Al estudiar la precisión global valorada, encontramos una correlación estadísticamente significativa con asociación fuerte ($r = -0,532$ $p=0,000$) para los tiempos obtenidos con el test de Fitts (en milisegundos) y una asociación algo más débil ($r= -0,312$ $p=0,015$) con los tiempos procedentes del ejercicio (en segundos), como se puede observar en los diagramas de caja o *boxplots* de la figura 69. De este modo, cuanto mejor es valorada la precisión, menores son los registros de tiempo, independientemente del dispositivo utilizado.

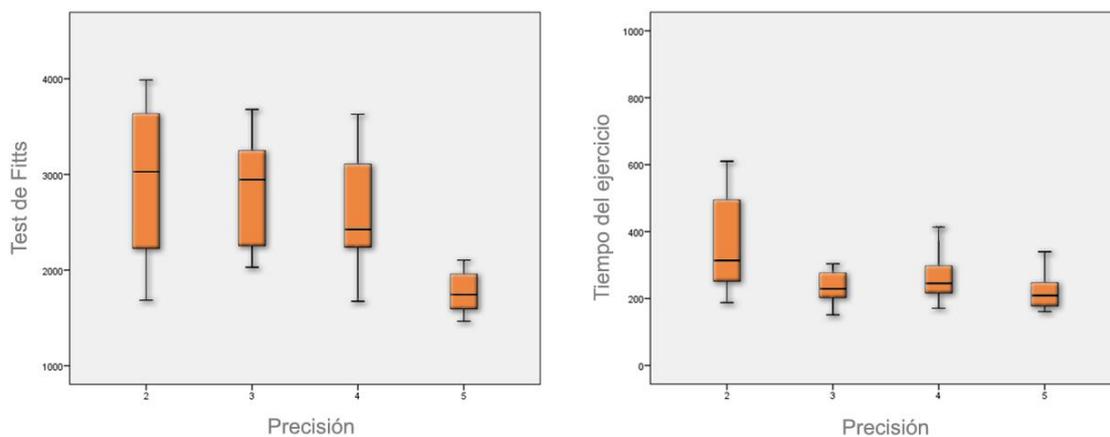


Figura 69. Diagramas de caja con los tiempos y la precisión.

4.9.3. Correlación entre el tiempo y la electromiografía

No se observó ninguna correlación significativa entre los tiempos invertidos en la realización del ejercicio y el registro electromiográfico, ni de manera global, ni por dispositivo.

4.9.4. Correlación entre el tiempo y la carga mental NASA-TLX

Cuando correlacionamos los tiempos de ejecución con la valoración a través del sistema NASA-TLX, obtenemos un coeficiente de correlación de 0,638 ($p=0,000$), observando una asociación fuerte. Esto nos indica que, según aumentó el tiempo de ejecución del ejercicio, se incrementó la carga mental de trabajo percibida. Si



desglosamos las dimensiones de NASA-TLX, observamos igualmente una correlación como se muestra en la tabla 31, salvo para la dimensión “física”, lo que nos plantea que el tiempo no influyó en dicha valoración.

Tabla 31. Correlación entre los tiempos de ejecución y la valoración NASA-TLX.

| | Mental | Físico | Temporal | Esfuerzo | Rendimiento | Frustración |
|---|--------|--------|----------|----------|-------------|-------------|
| r | 0,52 | 0,17 | 0,57 | 0,43 | 0,61 | 0,58 |
| p | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

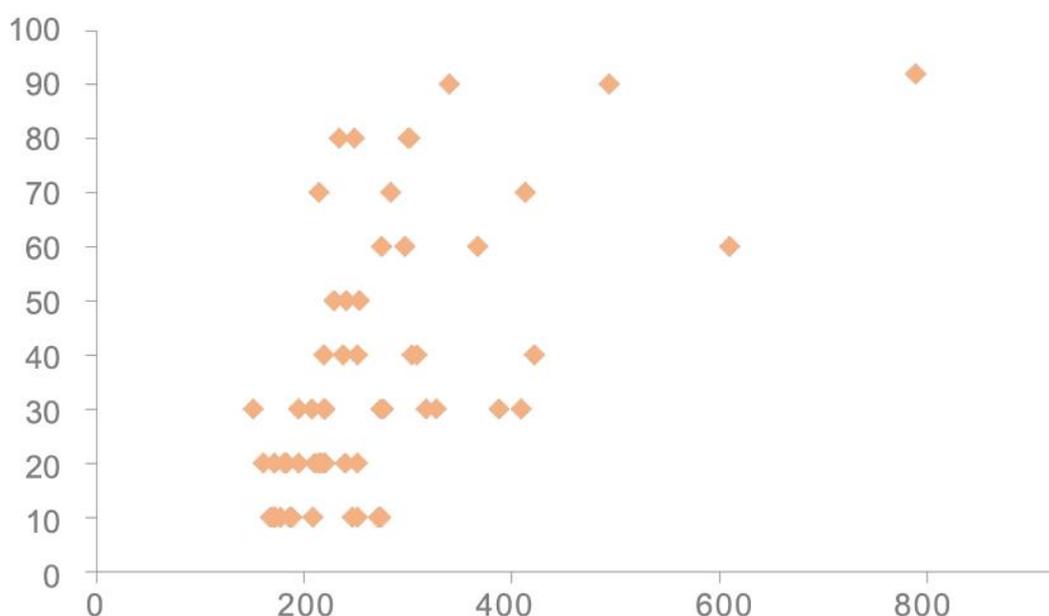


Figura 70. Nube de puntos de la correlación entre el grado de frustración (eje de abscisas) y el tiempo empleado en ejecutar el ejercicio, en segundos (eje de ordenadas).

4.9.5. Correlación entre la satisfacción general y los tiempos

Cuando correlacionamos la satisfacción general con los tiempos, observamos de manera significativa una asociación ($p < 0,05$), de modo que, a mayor grado de satisfacción, los tiempos obtenidos son menores. En el caso del test de Fitts, la asociación es moderada ($r = -0,446$ $p = 0,000$), mientras que en los tiempos del ejercicio resulta débil ($r = -0,326$ $p = 0,01$), pero igualmente significativa para las valoraciones extremas de satisfacción.

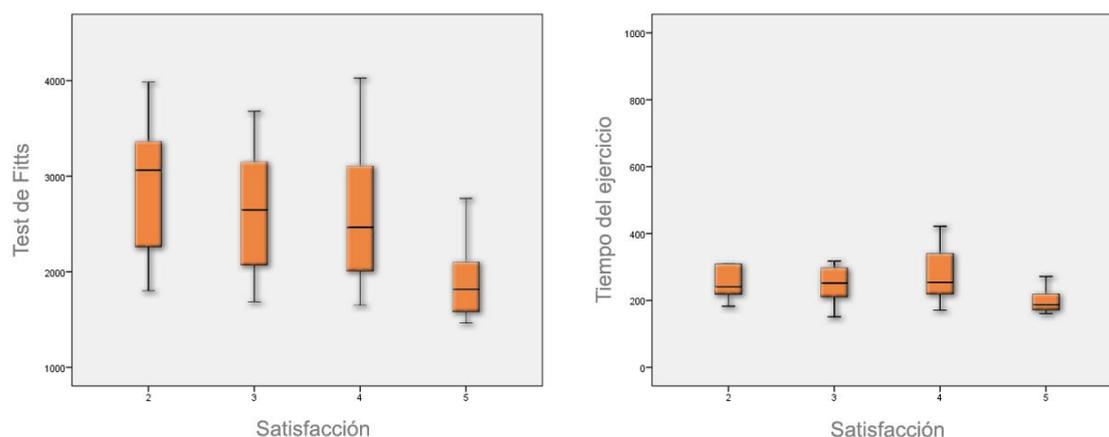


Figura 71. Diagramas de caja con los tiempos y la satisfacción.

4.9.6. Correlación entre posición que ocupa el dispositivo y el tiempo empleado en ejecutar el ejercicio

Como se observa en la figura 72, no existe una asociación entre la posición que ocupaba el dispositivo dentro de la serie a estudiar y el tiempo invertido en desarrollar el ejercicio, en segundos.

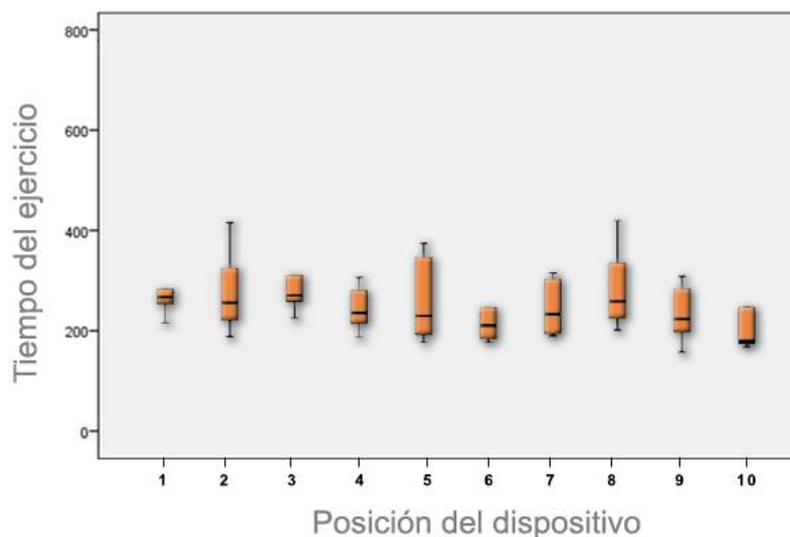


Figura 72. Diagrama de caja con los tiempos de desarrollo del ejercicio (en segundos) en relación a la posición del dispositivo.



Del mismo modo, tampoco se observó asociación entre la posición que ocupó el dispositivo durante el ejercicio y los resultados de cuestionario NASA-TLX, ni con la actividad electromiográfica. Por todo ello, podemos afirmar que no influyó la posición del dispositivo en los resultados obtenidos.

4.9.7. Correlación entre la valoración de la comodidad y los tiempos

No se observó de manera significativa una correlación entre la valoración de la comodidad y los tiempos, tanto los obtenidos durante el test de Fitts como los del ejercicio. Al comparar las medias de los tiempos en cada uno de los niveles de la valoración de comodidad mediante una ANOVA, aceptamos la igualdad de medias, es decir, que el tiempo invertido fue similar tanto para dispositivos con baja valoración de comodidad como para los mejor valorados.

4.9.8. Correlación entre el registro electromiográfico y NASA-TLX

Cuando correlacionamos la actividad electromiográfica global con la valoración NASA-TLX, encontramos únicamente asociación estadísticamente significativa con la dimensión física ($r=0.401$ $p=0,001$), de modo que a mayor actividad eléctrica, se valoró un mayor requerimiento físico.

4.9.9. Correlación entre el registro electromiográfico y la grasa subcutánea

No observamos diferencias estadísticamente significativas entre la cantidad de grasa subcutánea entre los distintos participantes y el nivel de actividad eléctrica muscular, ni para el reposo ni durante la ejecución del ejercicio.

4.9.10. Correlación entre los valores electromiográficos por músculo

Al estudiar la correlación entre la actividad electromiográfica relativa respecto al reposo entre los distintos músculos a estudio, se observa asociación estadísticamente significativa entre los músculos aductor del pulgar (AP) y el extensor largo del pulgar (ELP), así como con éstos y el extensor común de los dedos (ECD). También se observó asociación entre el flexor común de los dedos (ECD) y el trapecio medio (TM) y entre el deltoides medio (DM) y el trapecio superior (TS) (tabla 32).

Tabla 32. Correlación entre los valores electromiográficos por músculo.

| | | | | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|--|--|
| AP | | | | | | | | |
| 0,677 / 0,000 | ELP | | | | | | | |
| 0,620 / 0,000 | 0,706 / 0,000 | ECD | | | | | | |
| 0,018 / 0,894 | 0,137 / 0,296 | 0,139 / 0,289 | FCD | | | | | |
| 0,051 / 0,700 | 0,192 / 0,141 | 0,039 / 0,765 | 0,035 / 0,788 | DM | | | | |
| 0,003 / 0,985 | 0,055 / 0,677 | 0,115 / 0,383 | 0,018 / 0,894 | 0,464 / 0,000 | TS | | | |
| 0,050 / 0,704 | 0,116 / 0,378 | 0,005 / 0,968 | 0,542 / 0,000 | 0,078 / 0,552 | 0,014 / 0,431 | TM | | |

4.9.11. Correlación entre los valores electromiográficos por dispositivo

De manera global (actividad muscular total) sí existieron diferencias estadísticamente significativas, pero al particularizar cada músculo por dispositivo, pese a que observamos variabilidad en los datos descriptivos, no encontramos diferencias estadísticamente significativas.

Pese a no haber registrado la actividad eléctrica de los músculos encargados de la prono-supinación (pronadores cuadrado y redondo, supinador y bíceps braquial), si de manera un tanto artificial, pero atendiendo a la posición de agarre, dividimos los dispositivos en dos grupos: aquellos en los que la mano y antebrazo tienen una posición más pronada (ratón convencional, Rollermouse, *touchpad*, *trackball* negro y Leap Motion) y aquellos en los que la posición que se adopta es más neutra (ratón vertical, *trackballs* azul y rojo, Ergopointer y lápiz óptico), encontramos que la actividad electromiográfica relativa media registrada a nivel de la musculatura del antebrazo por los músculos flexor y extensor de los dedos (FCD y ECD) se ve disminuida en los



dispositivos considerados como “neutros”, en relación a los considerados como “pronadores” (figura 73). (F=4,287 p=0,03).

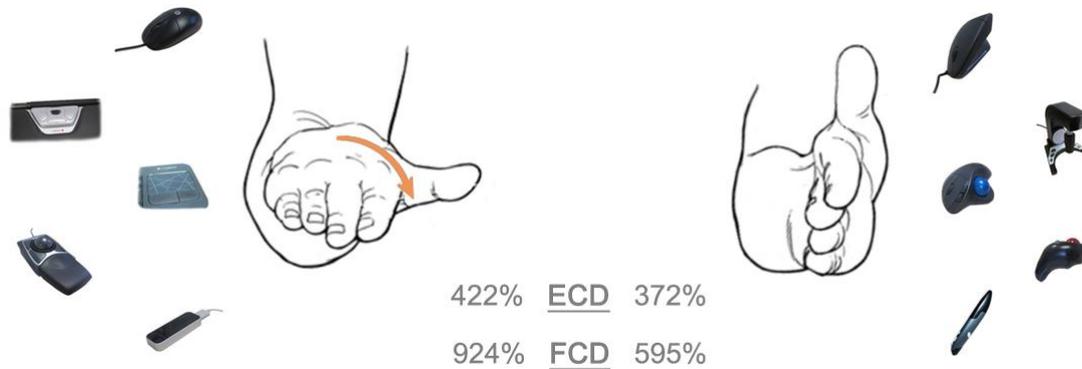


Figura 73. División de dispositivos según el grado de pronación. Valores medios relativos de actividad (porcentajes de incremento de la actividad respecto al reposo) para los músculos extensor común de los dedos (ECD) y flexor común de los dedos (FCD).

4.9.12. Correlación entre los valores de NASA-TLX por dimensión

Cuando correlacionamos las distintas dimensiones de la carga de trabajo NASA-TLX, observamos (tabla 33) una asociación estadísticamente significativa de manera generalizada, siendo fuerte entre las dimensiones temporal, esfuerzo, rendimiento y frustración, de modo que estas demandas se ven incrementadas de manera semejante.

Tabla 33. Correlación entre las dimensiones de NASA-TLX. Se exponen los datos del coeficiente de correlación de Pearson (r) / nivel de significación (p).

| | | | | | |
|---------------|---------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| Mental | | | | | |
| 0,439 / 0,000 | Físico | | | | |
| 0,438 / 0,000 | 0,186 / 0,155 | Temporal | | | |
| 0,246 / 0,058 | 0,379 / 0,003 | 0,555 / 0,000 | Esfuerzo | | |
| 0,462 / 0,000 | 0,046 / 0,725 | 0,747 / 0,000 | 0,551 / 0,000 | Rendimiento | |
| 0,435 / 0,001 | 0,335 / 0,009 | 0,726 / 0,000 | 0,724 / 0,000 | 0,749 / 0,000 | Frustración |

4.9.13. Correlación entre los registros de Mousotron y la carga mental NASA-TLX

Al estudiar la correlación entre los registros obtenidos con el *software* Mousotron (distancias, pulsaciones y movimientos de la rueda) y los procedentes del cuestionario NASA-TLX, vemos que existe una asociación estadísticamente significativa entre ambos, de modo que, a mayores registros, más carga mental es percibida por los participantes del ejercicio. La asociación es fuerte para las distancias y los movimientos de la rueda o *scroll* ($r=0,584$ $p=0,000$ y $r=0,501$ $p=0,000$, respectivamente) y débil para las pulsaciones o clic izquierdo ($r=0,327$ $p=0,011$).

4.9.14. Correlación entre los registros de Mousotron y la valoración de la precisión

No se observa correlación de los registros “pulsaciones” y “movimientos de la rueda” con la valoración de la precisión, pero sí existe asociación estadísticamente significativa, pero débil entre la distancia recorrida en centímetros (convertida) y la precisión ($r=-0,295$ $p=0,03$), de modo que a peor valoración de la precisión, se registraron unas distancias mayores, como muestra la figura 74.

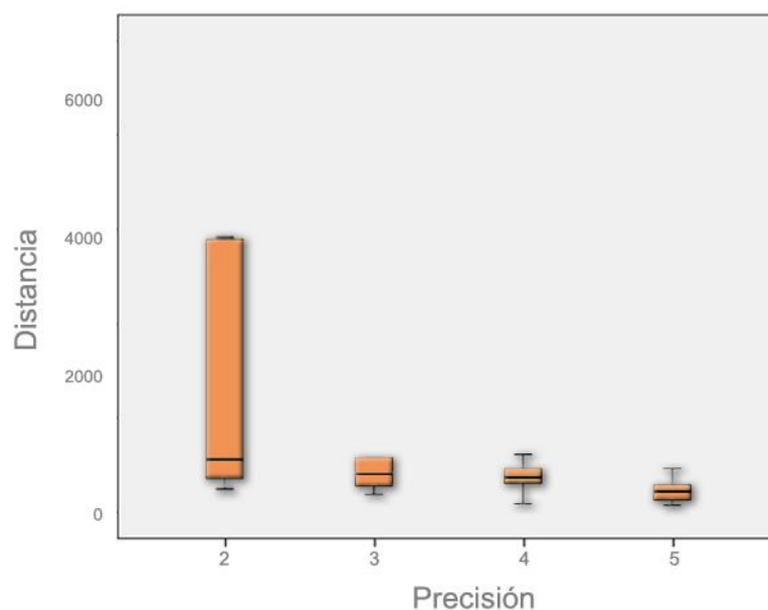


Figura 74. Diagrama de caja con las distancias en relación a la valoración de la precisión.



4.9.15. Correlación entre el tiempo del ejercicio y los registros de Mousotron

Observando la tabla 34, vemos de manera estadísticamente significativa una relación entre los tiempos invertidos en realizar el ejercicio y los registros del *software* Mousotron. Se deduce que, a mayor duración del ejercicio, los registros de desplazamiento, pulsaciones y movimientos de la rueda fueron mayores.

Tabla 34. Correlación entre los tiempos del ejercicio y los registros de Mousotron.

| | | | |
|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| Tiempo | | | |
| 0,747 /0,000 | Distancia | | |
| 0,356 /0,005 | 0,323/0,017 | Pulsaciones | |
| 0,483 /0,000 | 0,538 /0,000 | 0,229 /0,078 | Mov. rueda |

4.9.16. Correlación entre la carga mental y la valoración de la precisión

Realizamos un análisis de varianzas o ANOVA *one way* para contrastar la igualdad de medias de la variable NASA-TLX dentro de cada una de las escalas de precisión. Previamente, comprobamos los supuestos de normalidad e igualdad de varianzas.

Al realizar el test de Levene, obtenemos un $p > 0,05$ por lo que aceptamos la igualdad de varianzas y aplicamos Bonferroni en el *post hoc*.

Al obtener en el test de ANOVA $F=3,629$ ($p=0,034$), rechazamos la igualdad de medias, por lo que al menos dos escalas de precisión tienen distintos valores medios de carga mental NASA-TLX.

Las diferencias de media de carga mental NASA-TLX son estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en las escalas de precisión 4 y 5. Es decir, aquellos participantes que valoraron un dispositivo con precisión 5, obtuvieron cargas de trabajo menores que los que valoraron con precisión 4.

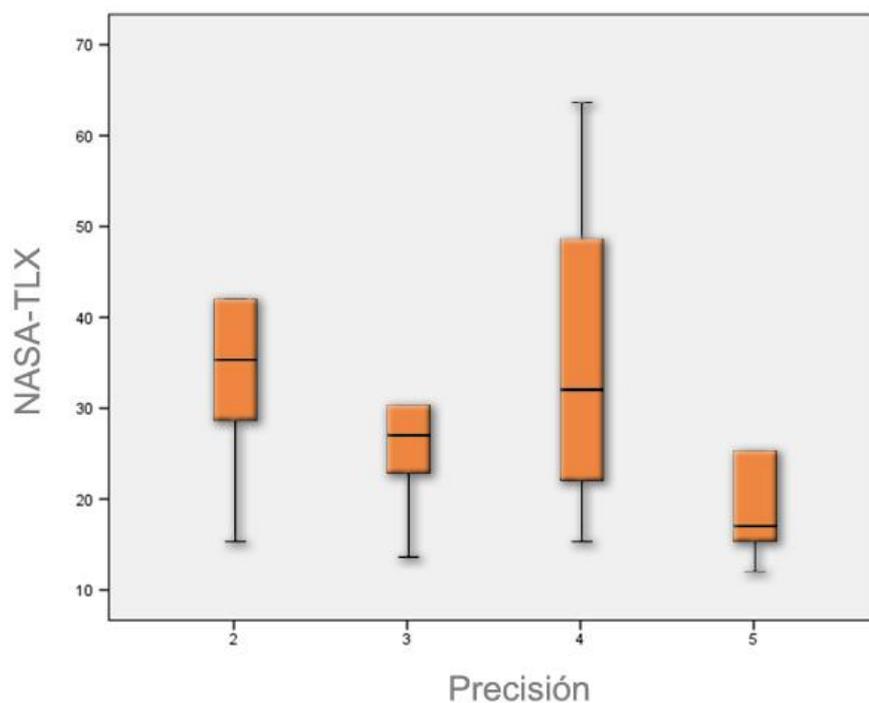


Figura 75. Correlación entre los valores NASA-TLX y la valoración de la precisión.

4.9.17. Correlación entre carga mental y perspectivas de uso

Al realizar un análisis de varianzas o ANOVA *one way* y obtener $F=1,130$ ($p>0,05$), aceptamos la igualdad de medias y consideramos que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores NASA-TLX en cada uno de los niveles de perspectivas de uso valorados.

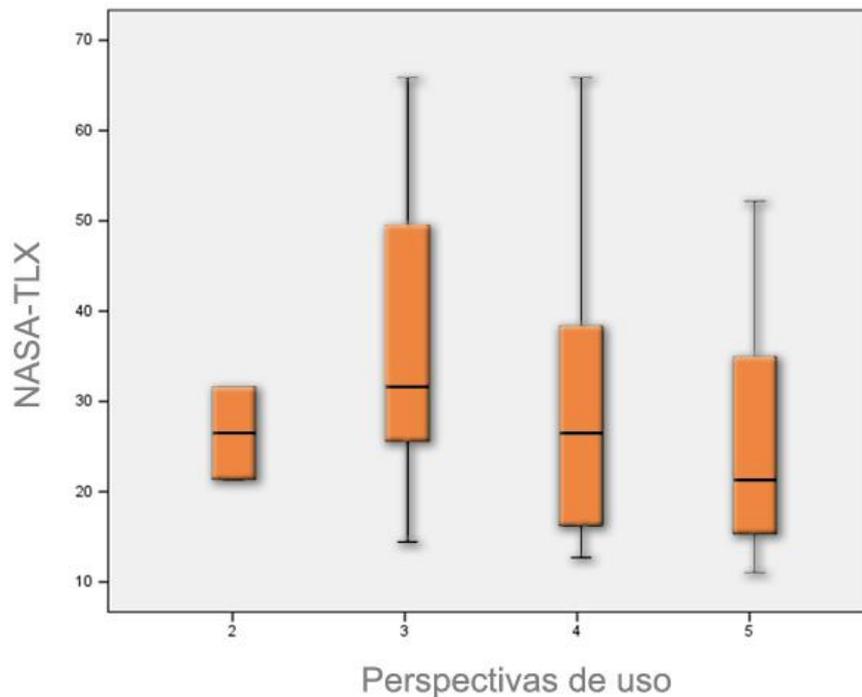


Figura 76. Correlación entre los valores NASA-TLX y las perspectivas de uso.

4.9.18. Correlación entre las valoraciones de precisión y comodidad

Al estudiar la correlación entre las valoraciones de precisión y comodidad, encontramos una asociación débil ($r=0,321$ $p=0,012$), de modo que aquellos dispositivos que fueron mejor valorados en precisión, también lo fueron en comodidad.

4.9.19. Correlación entre satisfacción general y otras variables

Finalmente, observamos asociaciones estadísticamente significativas ($p=0,000$) entre el grado de satisfacción general y la valoración ergonómica y de precisión, y una correlación igualmente significativa, pero negativa con los tiempos registrados en el test de Fitts *online* ($r=-0,446$ $p=0,000$), con la carga mental de trabajo ($r=-0,659$ $p=0,000$) y con las distancias convertidas ($r=-0,619$ $p=0,000$), así como con el tiempo invertido en la ejecución del ejercicio ($r=-0,326$ $p=0,11$), y las pulsaciones o clic izquierdos ($r=-0,341$ $p=0,008$).

5. DISCUSIÓN

5. DISCUSIÓN

El cambio inminente hacia la digitalización en el ámbito de la especialidad médica de Anatomía Patológica nos plantea un escenario con aspectos aún no estudiados como el constituido por la interacción humano-computadora y, más concretamente, con el dispositivo más adecuado para controlar las imágenes (Krupinsky 2009; Al Janabi *et al.* 2012; Thortenson *et al.* 2014; García-Rojo 2016).

No hemos encontrado en la literatura ningún trabajo en el campo de la patología digital que considere tratar este tema de un modo holístico o, al menos, tratando de aglutinar distintos tipos de variables y su estudio pues, en ergonomía, no sólo hay aspectos relacionados con la comodidad sino también con la precisión, el rendimiento o la percepción y las cargas físicas y mentales (Laursen *et al.* 2002) por parte del usuario. Krupinski (2009) discute esta situación, pero sin llevar a cabo ningún estudio, planteando una analogía con la estación de trabajo o *cockpit* de los especialistas en Radiodiagnóstico, que sufrieron con anterioridad un cambio similar hacia la digitalización. Sin embargo, la interacción que tiene el patólogo con respecto al radiólogo en relación al manejo de la imagen digital es significativamente distinta.

Los estudios comparativos encontrados en patología digital son únicamente los de Wang *et al.* 2012 y Molin *et al.* 2015. Los primeros comparan el ratón convencional con un sistema de pantalla multitáctil (Microsoft *Surface*) y la tarea a realizar es la navegación y anotación, pero únicamente valoran un cuestionario de satisfacción entregado a los participantes (11 bioinformáticos y 2 patólogos). Molin y colaboradores (2015), por su parte, comparan un ratón convencional, un *touchpad* y un dispositivo denominado *6 degrees of freedom navigator*, 6DOF (Space Mouse Pro, 3DConnexion), tras la configuración de los mismos (aspecto que nosotros igualmente consideramos y que hemos encontrado descrito en escasos trabajos como en el de Feathers *et al.* 2013 o Lin *et al.* 2015) y los utilizan con preparaciones histológicas digitalizadas y su diagnóstico.



5.1. POBLACIÓN

Respecto a la población a estudio, los sujetos de nuestro trabajo eran todos sanos y diestros (5 hombres y 1 mujer) y no habían sufrido lesiones con anterioridad en el miembro superior derecho, criterios de inclusión similares a otros autores (Singh *et al.* 2005; Kumar y Kumar 2015 o Lin *et al.* 2015). En nuestro estudio, pese a que el tamaño de la población es reducido (6 participantes, al igual que en el trabajo de Molin *et al.* 2015) si lo comparamos con algunas investigaciones de dispositivos de entrada (Arnaut *et al.* 1990, 20 participantes; Quemelo y Vieira 2013, 16 participantes; Gustafsson y Hagberg 2003, 19 participantes; Feathers *et al.* 2013, 21 participantes; Brown *et al.* 2007, 24 participantes; Stanton *et al.* 20 participantes; Noah *et al.* 20 participantes; Karlqvist *et al.* 24 participantes; Lin *et al.* 12 participantes), encontramos la ventaja de que los individuos tienen una edad muy similar, a diferencia del resto de estudios comentados, donde la dispersión es mayor, llegando a existir rangos de edades comprendidos entre 24 y 64 años, como en el estudio de Gustafsson y Hagberg (2003). Adicionalmente, nuestros participantes pertenecían a una misma generación, los denominados *millennials*, caracterizados generalmente por la fácil adaptación a distintos entornos, fundamentalmente digitales (Boysen *et al.* 2016). Por otro lado, coinciden en un nivel educativo similar por tratarse de estudiantes universitarios que cursan el Grado en Medicina y habían superado todos ellos la asignatura de histología, en donde habían tenido experiencia con imágenes histológicas digitalizadas, haciendo uso de las mismas a través de un ordenador.

Como en otros estudios (Feathers *et al.* 2013; Quemelo y Vieira 2013; Molin *et al.* 2015; Kumar y Kumar 2015; Schmid *et al.* 2015), los sujetos tuvieron un periodo previo de familiarización con cada uno de los dispositivos, periodo que no fue limitado en el tiempo, siendo de al menos 20 minutos y dejando al propio participante decidir cuándo se encontraba preparado para realizar las pruebas a evaluar. Dicho periodo de familiarización es muy variable entre los distintos estudios, siendo “libre” en el trabajo de Kumar y Kumar (2015), “breve” en el de Feathers y colaboradores (2013), “hasta sentirse cómodos” en la comparación que lleva a cabo Lee y colaboradores (2007), “5 minutos” en el de Schmid y colaboradores (2015), “de en torno a 10 minutos” para Molin y colaboradores (2015) o de “16 horas repartidas en dos semanas” en el estudio de Quemelo y Vieira (2013); otros autores como Lin *et al.* (2015) no parecen considerarlo. Todos los participantes en nuestro trabajo tenían experiencia previa con

dos dispositivos, el ratón convencional y el *touchpad*, no encontrándose familiarizados con ninguno de los restantes 8 dispositivos de entrada.

5.2. METODOLOGÍA

5.2.1. DISPOSITIVOS

Hemos podido observar que las investigaciones en las que se comparan distintos dispositivos de entrada en cualquier otro ámbito clínico, que son prácticamente inexistentes (Chen *et al.* 2011; Ebert *et al.* 2012; Sánchez-Margallo *et al.* 2017), o a nivel experimental, que representan la mayoría de estos estudios, incluyen muy escasos dispositivos (2 o 3, habitualmente), algunos de ellos similares entre sí (Agarabi *et al.* 2004; Oude Hengel *et al.* 2008 o Feathers *et al.* 2013) y también dispositivos de entrada en desuso, pues algunas fechas de publicación datan de los años 90 (Harvey y Peper 1997; Karqvist *et al.* 1998; Fermström *et al.* 1997). En nuestro trabajo, hemos tratado de representar gran parte del espectro de dispositivos de entrada existentes en el mercado, con 10 modelos significativamente distintos, tanto en forma y diseño, como en disposición de botones o tipo de interacción directa o indirecta con el *software* a utilizar (Rogers *et al.* 2005).

Por otra parte, la metodología empleada no es fácilmente reproducible, tanto por la disparidad encontrada, pues gran parte de los estudios emplean *software* concretos (Brown *et al.* 2007; Houwink y Oude Hengel 2009; Quemelo y Vieira 2013) o se basan en tareas como la escritura (Fermström y Ericson 1997; Cook y Kothiyal 1998; Gustafsson y Hagberg 2003; Dennerlein *et al.* 2006), el dibujo (Kotani y Horii 2003), juegos o navegación web (Dennerlein *et al.* 2006; Lin *et al.* 2015), como por las particularidades de nuestro diseño, dirigido a manejar muestras tisulares digitalizadas y creado exclusivamente para este estudio, en donde la matriz que configuramos, basándonos en la ley de Fitts, a partir de la formulación de Shanon (Mackenzie *et al.* 1991), permitía de manera estandarizada realizar el ejercicio. Al no tratarse de un ejercicio diagnóstico como el planteado por Molin y colaboradores (2015), no se podía producir sesgo a consecuencia de la distinta experiencia de sus participantes. El ejercicio principal que realizaron, a parte del test de Fitts *online*, era dicha navegación dirigida sobre una matriz tisular digitalizada generada con un *manual tissue arrayer*, en donde el objetivo era desplazarse y aumentar y alejar la preparación de manera



repetida. Dado el grado de correlación que encontramos entre la aplicación web de la ley de Fitts y los tiempos de nuestra matriz (coeficiente de correlación de Pearson de 0,578, con $p < 0,05$), consideramos como válida esta prueba para valorar de manera alternativa e independiente la precisión alcanzada con cada dispositivo.

5.2.2. MÉTODO NASA-TLX

Entre aquellos estudios en los que se utiliza el método NASA-TLX de carga mental de trabajo, encontramos el de Molin *et al.* 2015 en patología digital. En su trabajo, la tarea a realizar por los 6 participantes (patólogos con distinto grado de experiencia) es el diagnóstico de las mismas, como ya hemos mencionado, registrando los tiempos invertidos y la carga mental de trabajo a través del sistema NASA-TLX, así como también se cumplimenta un cuestionario de valoración por parte de los participantes, al igual que Stellmach y Dachsel 2012 o Feathers *et al.* 2013. Molin y colaboradores no encontraron diferencias estadísticamente significativas en relación al tiempo empleado con cada uno de los dispositivos, pero sí encontraron diferencias en cuanto a la percepción de carga mental, de modo que el *touchpad* era el que peor resultados obtenía en relación a los otros dos dispositivos. También encontraron globalmente (5 de los 6 participantes) preferencias hacia el dispositivo 6DOF frente al ratón convencional. En relación a la aplicación del cuestionario NASA-TLX para el estudio de carga de trabajo mental, Molin y colaboradores parecen utilizar los resultados tras efectuar la fase inicial de ponderación. Nosotros, pese a que también realizamos dicho registro, vimos al igual que otros autores (Nygren 1991; Moroney *et al.* 1995; Byers *et al.* 1989; López *et al.* 2010) un elevado índice de correlación (0,97) entre los valores ponderados y los no ponderados y reflejamos finalmente en los resultados estos últimos.

Nosotros sí observamos una asociación fuerte y estadísticamente significativa con el tiempo empleado con cada dispositivo y también correlación con la carga mental de trabajo, de modo que a mayor tiempo invertido, mayor era la carga mental (coincidiendo con Yurko *et al.* 2010 o Hancock PA 1996). También encontramos correlación fuerte ($p < 0,05$) entre las distintas dimensiones, concretamente para las dimensiones temporal, esfuerzo, rendimiento y frustración. En este sentido, Hancock (1996), con una población similar (6 individuos) también aplicó el cuestionario NASA-TLX para comparar el comportamiento del ratón convencional con un *trackball*,

encontrando una menor carga de trabajo mental y un mejor rendimiento con este último. En nuestro caso, el ratón convencional fue el mejor posicionado sólo tras el ratón vertical en términos de carga, y los distintos *trackballs* obtuvieron valoraciones intermedias (puestos 5, 6 y 8 para el *trackball* negro, rojo y azul, respectivamente). Stanton *et al.* (2013) comparan con dicha metodología un *trackball*, un controlador rotatorio, un *touchpad* y una pantalla táctil y concluyen en una mayor carga mental de trabajo para la pantalla táctil y para el *touchpad*. El *touchpad* fue el peor valorado globalmente y la menor carga mental de trabajo fue percibida con el *trackball* utilizado. Encontraron también una mejor consecución de objetivos con la pantalla táctil, pero una peor valoración de su comodidad postural. Noah y colaboradores (2017), por su parte, no encuentran diferencias estadísticamente significativas cuando comparan un *touchpad* con un ratón convencional. En nuestro caso, el *touchpad* tuvo una valoración de carga mental por encima de la media, posicionándose entre los últimos puestos.

5.2.3. TEST DE FITTS

Algunos de los estudios comparativos entre dispositivos de entrada, incluyen entre la metodología, la aplicación de la ley de Fitts (Card *et al.* 1978; Epps 1986; Radwin *et al.* 1990; Mackenzie *et al.* 1991; Accot *et al.* 1999; Brown *et al.* 2007; Feathers *et al.* 2013; Quemelo y Vieira 2013), pero no a través del mismo *software* que hemos empleado nosotros, sino con *software* propios, y con unos dispositivos que difieren notablemente de los nuestros. Por ello, existe una gran disparidad y los resultados son difícilmente comparables (Soukoreff y MacKenzie 2004). Algunos estudios muestran una mayor precisión del ratón convencional en relación a alternativas como el teclado (Card *et al.* 1978), dispositivos tipo *joystick* (Brown *et al.* 2007), *touchpads* (Accot *et al.* 1999 o Lee *et al.* 2008) o también ante algunos tipos de ratón vertical (Quemelo y Vieira 2013); otros autores no encuentran diferencias estadísticamente significativas (Feathers *et al.* 2013 o Schmid *et al.* 2015) y finalmente otros, sin embargo, ponen de manifiesto un mejor rendimiento de alternativas como los *trackballs* (Epps 1986 o Lee *et al.* 2008) o una tableta gráfica (Mackenzie *et al.* 1991).

Nosotros encontramos diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$), tanto para el test de Fitts *online* como para el tiempo invertido en la ejecución del ejercicio dirigido, y encontramos también correlación entre ambos tiempos ($p < 0,05$). Las diferencias encontradas entre ambos *rankings* fueron las de un mejor



posicionamiento del ratón vertical frente al convencional durante el ejercicio de manejo de la preparación tisular en comparación con la prueba *online*, en la que el ratón convencional lideró la clasificación por tiempos. También encontramos un peor comportamiento del dispositivo Rollermouse en el ejercicio con la imagen digitalizada en comparación con la prueba *online*. Los peor posicionados fueron en ambos casos el dispositivo Ergopointer y Leap Motion, seguidos del *touchpad* y del *trackball* rojo. Los dos *trackballs* restantes (negro y azul) y el lápiz óptico se situaron en posiciones intermedias.

5.2.4. ELECTROMIOGRAFÍA SUPERFICIAL

La actividad muscular también ha sido investigada cuando se utilizan dispositivos de entrada. El objetivo ha sido el de encontrar alternativas con menores registros electromiográficos por parte de aquellos músculos que intervienen en el manejo de estos aparatos, bien sea cambiando el posicionamiento del dispositivo de entrada respecto del usuario (Cook y Cothiyal 1998; Karlqvist *et al.* 1998 o Dennerlein y Johnson 2006), modificando su tamaño (Oude Hengel *et al.* 2008) o bien tratando de buscar alternativas (Harvey y Peper 1997; Lintula *et al.* 2001; Laursen *et al.* 2002; Kotani y Horii 2003; Agarabi *et al.* 2004; Lee *et al.* 2007; Lee *et al.* 2008; Kumar *et al.* 2008; Houwink y Oude Hengel 2009; Lin *et al.* 2015). Los grupos musculares a estudio, fundamentados mayoritariamente en las recomendaciones de Perotto (1994) y Cram *et al.* (1998), incluyen distintas porciones de los músculos trapecio y deltoides para la espalda y hombro, bíceps y tríceps para la movilidad del brazo, extensores y flexores comunes de los dedos, pronador redondo y extensores radial y cubital del carpo para la articulación de la muñeca, así como el aductor del pulgar, extensor largo del pulgar y dorsales interóseos, entre otros, para la mano. Coincidimos en el posicionamiento de electrodos con la mayor parte de estudios realizados por otros autores, fundamentalmente en los siguientes músculos: extensor común de los dedos (ECD), deltoides medio (DM) y trapecio superior (TS) y, en menor medida, el flexor común de los dedos (FCD) (Agarabi *et al.* 2004). Existe igualmente, variedad en la elección de los músculos seleccionados por los distintos investigadores.

Un aspecto importante y del que no se deja constancia en la mayor parte de trabajos es el referido al amplio rango de edades de los participantes (llegando incluso a ser de entre 18 a 44 años en el estudio de Brown *et al.* 2007 o entre 24 y 64 años en

el de Gustafsson y Hagberg 2003), no quedando reflejada por ejemplo la complejión física de los mismos con parámetros como el índice de masa corporal o medidas de pliegues cutáneos, ya que de todos es bien conocida su influencia en la señal electromiográfica (De la Barrera y Milner 1994; Petrofsky 2008; Herda *et al.* 2010). Nuestra población era en este aspecto relativamente homogénea, con edades y morfotipos similares, no encontrando correlación estadísticamente significativa entre los pliegues bicipital y tricipital y la señal electromiográfica.

Hemos seguido las indicaciones descritas en la literatura respecto a los criterios de exclusión y de inclusión de participantes, posicionamiento de sensores, con las recomendaciones de Perotto (1994), acondicionamiento de la sala desde el punto de vista ergonómico (Harvey y Peper 1997; Fernström y Ericson 1997) y de condiciones ambientales y de temperatura (Chen *et al.* 2007). No hemos encontrado, sin embargo, ningún estudio que emplee el mismo sistema de electromiografía superficial (DataLOG MWX8) y en este aspecto, existe gran disparidad entre los distintos autores: Lin *et al.* (2015) utilizaron el DE-2.1 (Delsys. Inc., Boston, MA), Kumar y Kumar (2015), el ME300 (Mega Electronics Ltd, Finland), Lee *et al.* (2008), el NORAXON Myosystem 200 (Noraxon, Oulu, Finland), Karkqvist *et al.* (1998), el ME4001 (Mega Electronics Ltd, Finland), Lee *et al.* (2005), el MyoScan-Pro (Thought Technology LTD., Montreal, Quebec, Canada) y Gustafsson y Hagberg (2003), el Muscle Tester ME3000P (Mega Electronics Ltd, Kuopio, Finland), por poner algunos ejemplos. Tampoco los dispositivos estudiados son similares en otras investigaciones, e incluso algunos autores no comparan dispositivos significativamente distintos o bien, estudian distintos posicionamientos del dispositivo, como hemos mencionado con anterioridad.

En relación a los valores reflejados por los distintos investigadores, la mayor parte relativizan los datos respecto al registro de la contracción voluntaria máxima (CVM), obtenida para cada músculo, contrarresistencia (Kumar y Kumar 2008; Lintula *et al.* 2001; Karlqvist *et al.* 1998; Lin *et al.* 2015; Gustafsson y Hagberg 2003, entre otros). Otros muestran únicamente los valores absolutos (Agarabi *et al.* 2004; Harvey y Peper 1997; Krezcy *et al.* 1999 o Cook y Kothiyal 1998) o incluso valores relativos a la máxima (Williams *et al.* 2015) o realizan los registros de la contracción voluntaria máxima de manera un tanto arbitraria (Laursen *et al.* 2002 o Lee *et al.* 2008). Nosotros, tras realizar un registro de la contracción voluntaria máxima con un dinamómetro manual, alentando al participante a mantener una contracción de todo el



brazo, percibimos que los registros de la musculatura proximal (deltoides medio y trapecios superior y medio) eran excesivamente bajos. Finalmente, optamos por no relativizar los valores obtenidos respecto de ninguna de las máximas que habíamos considerado y decidimos relativizar dichos valores respecto de la actividad electromiográfica en reposo. Nos pareció, por los datos iniciales, que los registros eléctricos de la musculatura involucrada en el manejo de un dispositivo de entrada se situaban mucho más cerca del reposo que de unos valores excesivos y, a nuestro parecer, desproporcionados, que son los reflejados por la mayoría de los autores. De hecho, si revisamos los valores relativos de los distintos estudios, vemos una gran disparidad de resultados, con porcentajes de activación de hasta el 28% para un músculo como el trapecio (Karlqvist *et al.* 1998). Es por ello que mostramos los resultados brutos y relativos respecto a la actividad en reposo.

Los resultados reflejados en la literatura en general, objetivan de manera significativa una variabilidad entre los dispositivos comparados y entre distintos posicionamientos de los mismos, si bien no son estudios prospectivos que consideren el investigar la mejoría en la sintomatología por su uso prolongado. Así, por ejemplo, Cook y Kothiyal (1998), al investigar la relación entre distintos posicionamientos con un mismo ratón convencional y la actividad muscular, encuentran que la actividad electromiográfica del deltoides anterior y medio se ve incrementada de manera significativa con posiciones extremas, en donde la abducción y flexión del hombro son mayores, no observando cambios a nivel del trapecio. Karlqvist *et al.* (1998) encuentran hallazgos similares, pero con cambios no sólo a nivel deltoideo, sino también en trapecio, según la posición central o lateralizada del ratón (figura 12), al igual que Dennerlein *et al.* (2006). Onyebeke *et al.* (2014), estudian la implementación de sistemas de apoyo de antebrazo y muñeca, registrando actividades musculares menores en las regiones del deltoides y trapecio con dichos sistemas. Otros, como Laursen *et al.* 2002, encontraron por su parte, una mayor actividad con el ratón convencional cuando lo comparan con el teclado.

Centrándonos en aquellos estudios electromiográficos que comparan distintos dispositivos de entrada, encontramos a Harvey y Peper (1997), que comparan un ratón convencional con un *trackball*; Fernström y Ericson (1997) que estudian el comportamiento de un dispositivo de entrada tipo *joystic* centrado en el teclado; Lin *et al.* (2015), que comparan 4 dispositivos de entrada: ratón convencional, *trackball*, *touchpad* y *Rollermouse*; Kumar y Kumar (2008), que comparan un ratón convencional

y un Rollermouse; Lee *et al.* (2005), que comparan un *trackball* y un *touchpad*; otros como Gustafsson y Hagberg (2003), Chen *et al.* (2003) o Houwink y Oude Hengel (2009) buscan alternativas que reduzcan la pronación habitual del ratón convencional (figura 13); Lee *et al.* (2007) comparan el ratón convencional con 4 alternativas muy parecidas; Lee *et al.* (2008) añaden a una comparación entre un ratón convencional y un *touchpad*, un nuevo dispositivo no comercializado similar a un *trackball*; Kotani y Horii (2003) incorporan una tableta gráfica para su estudio. Por su parte, Oude Hengel *et al.* (2008) realizaron un estudio comparando distintos tamaños de ratón convencional. Atendiendo a los resultados de dichos estudios, Harvey y Peper (1997) encontraron diferencias electromiográficas significativas, de modo que existía una mayor actividad de los músculos deltoides y trapecio empleando el ratón convencional que cuando se utilizaba un *trackball*. Por su parte, Fernström y Ericson (1997) detectaron una actividad muscular del hombro disminuida durante la utilización del dispositivo de entrada tipo *joystic* centrado en el teclado, en comparación con el ratón convencional. Lin *et al.* (2015) sólo encontraron de manera significativa una actividad muscular menor del músculo extensor radial del carpo utilizando el dispositivo Rollermouse, al igual que Kumar R *et al.* (2008), así como una mayor actividad de la musculatura del antebrazo con el *trackball*, y una menor actividad de dicha musculatura con el *touchpad*. Otra comparación encontrada es la realizada entre el ratón convencional y alternativas que evitan o reducen la pronación generada, observando una disminución de la actividad muscular a nivel del antebrazo (Gustafsson y Hagberg 2003; Chen *et al.* 2007; Houwink y Oude Hengel 2009; Aaras *et al.* 2001) en dispositivos de entrada con una posición angulada. Otro dispositivo, una *pen tablet* del tipo tableta gráfica, comparada con el ratón convencional por Kotani y Horii (2003), mostró menor actividad que este último para los músculos flexor y extensor común de los dedos y bíceps. Por su parte, Lee *et al.* (2005) no encuentran diferencias estadísticamente significativas entre los músculos estudiados cuando comparan un *touchpad* y un *trackball*. Lee y colaboradores (2007), encontraron únicamente leve disminución, pero significativa, de algunas porciones del músculo extensor de los dedos (ponen un electrodo en la porción del índice y otro en la del dedo medio), entre algunas de las alternativas al ratón convencional que proponen (leves modificaciones del posicionamiento del botón izquierdo). Kumar y Kumar (2008) vieron en su estudio de manera estadísticamente significativa una menor actividad de los músculos deltoides, trapecio y extensor común de los dedos en un dispositivo Rollermouse, en comparación con un ratón convencional. Finalmente, Lee *et al.* (2008)



detectaron una actividad disminuida de los músculos trapecio y extensor cubital del carpo cuando utilizan el prototipo diseñado, en relación al ratón convencional o al *touchpad*.

En nuestro estudio hemos encontrado igualmente diferencias, pero no todas estadísticamente significativas. Hemos observado una menor actividad global bruta y relativa de todos los músculos en conjunto para el Rollermouse, seguida del *trackball* azul, Ergopointer y ratones convencional y vertical, alcanzándose la mayor actividad para el *touchpad*, los *trackballs* rojo y negro y el Leap Motion, principalmente ($p < 0,001$). A nivel general, la musculatura proximal, englobando a los músculos deltoides medio y trapecios, tuvo una menor actividad durante la utilización de los dispositivos *trackball* azul, ratones convencional y vertical y Rollermouse, encontrándose incrementada cuando se usaron los dispositivos *touchpad*, lápiz óptico, Leap Motion y *trackball* negro. A nivel de la musculatura considerada como proximal (aductor del pulgar, extensor largo del pulgar y extensores y flexores comunes de los dedos), de manera global, observamos una mayor actividad eléctrica en los dispositivos *trackball* rojo y *touchpad*, fundamentalmente. El músculo más activado de manera general fue el aductor del pulgar, siendo el deltoides medio el que menor actividad registró. También observamos correlación entre los distintos músculos, de modo que a mayor actividad del aductor del pulgar, también era mayor la actividad del extensor largo del pulgar y la actividad de estos dos estaba igualmente relacionada con el extensor común de los dedos. Del mismo modo, vimos correlación directa entre las actividades eléctricas del deltoides medio y trapecio superior y entre el flexor común de los dedos y el trapecio medio, pero todas éstas sólo a nivel general cuando se utilizan dispositivos de entrada.

Respecto a los valores electromiográficos relativos en relación al reposo, el comportamiento fue similar, pero no se observaron resultados estadísticamente significativos al particularizar por dispositivo y músculo, si bien es cierto que el músculo aductor del pulgar tenía la actividad más baja cuando se utilizaba el Rollermouse, al igual que cuando se utilizaba el Ergopointer. Sin embargo, cabe destacar un aspecto importante respecto a este último, pues fue el único que requirió de la mano contralateral para efectuar los clics izquierdos. Esto ha de tenerse en consideración para los registros antes mencionados. A nivel de la musculatura proximal, observamos para el *trackball* azul la menor actividad eléctrica registrada en los músculos deltoides medio y trapecios superior y medio, seguida de los ratones

convencional y vertical y Rollermouse. Los valores máximos registrados del trapecio medio correspondían al lápiz óptico y al Leap Motion. No obstante, estos resultados no fueron tampoco estadísticamente significativos.

Por otra parte, cuando agrupamos los dispositivos en “pronadores” (ratón convencional, Rollermouse, *touchpad*, *trackball* negro y Leap Motion) y “neutros” (ratón vertical, *trackballs* azul y rojo, Ergopointer y lápiz óptico), encontramos diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para los registros electromiográficos de los músculos flexor y extensor común de los dedos, de modo que eran menores para aquellos dispositivos considerados como neutros.

Coincidiríamos por tanto, y parcialmente, dada la falta de significación estadística, con los resultados de Harvey y Peper (1997), pero sólo para el *trackball* azul y su menor registro electromiográfico a nivel de deltoides y trapecio en relación al ratón convencional; con Lin y colaboradores (2015) y Kumar y Kumar (2008) diferimos en la musculatura analizada, pero hallamos igualmente un mejor comportamiento general con Rollermouse que con el ratón convencional; por último, en relación a los trabajos de Gustafsson (2003), Chen (2003) y Howing (2009), no encontramos con el ratón vertical empleado diferencias estadísticamente significativas en relación a la actividad electromiográfica desarrollada con el ratón convencional.

5.2.5. CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

En relación al cuestionario de valoración por parte de los participantes del estudio, los autores que consideran este apartado (Gustafsson y Hagberg 2003; Lee *et al.* 2007; Kumar y Kumar 2008; Lee *et al.* 2008; Wang *et al.* 2012; Feathers *et al.* 2013; Lin *et al.* 2015; Schmid *et al.* 2015), pese a ser un aspecto, el de la preferencia personal, importante a la hora de utilizar un dispositivo u otro de entrada (Krupinski 2009), tan sólo se tienden a valorar muy escasos puntos, fundamentalmente aspectos como la comodidad o el esfuerzo. Emplean una escala visual analógica tipo Likert para cuantificar la percepción obtenida como hemos hecho en nuestro estudio.

Así, Gustafsson y Hagberg (2003), al comparar un ratón convencional con uno vertical concluyen en una mayor comodidad y preferencia por el ratón convencional. Lee y colaboradores (2007) coinciden con estos autores, con una mayor comodidad y



satisfacción general con un ratón convencional, comparándolo con otros ratones muy similares, en los que únicamente se modificaba el botón izquierdo. Kumar y Kumar (2008) también obtienen como resultado una mayor valoración de la comodidad para el ratón convencional, comparándolo con un *Rollermouse*. Lee y colaboradores (2008) valoran como más cómodo el dispositivo nuevo que presentan y que no hemos encontrado comercializado, pero sin embargo tiene peor valoración en la precisión y en la satisfacción general, en donde tanto el ratón convencional como un *touchpad* se sitúan como los mejor valorados. Wang y colaboradores (2012) recogen la percepción acerca de la rapidez y el grado de diversión, así como la calidad de imagen cuando comparan tres sistemas de navegación a través de preparaciones histológicas digitalizadas, uno de ellos a través de pantalla multitáctil y siendo este sistema el mejor valorado frente al controlado a través de un ratón convencional. Feathers y colaboradores (2013), comparan 5 dispositivos (ratón convencional y otros más ergonómicos, con menor pronación, fundamentalmente) entre estudiantes universitarios, y recogen la información subjetiva de facilidad de uso, control, comodidad y atractivo, así como de satisfacción general. Globalmente, los dispositivos más ergonómicos tienen una mejor valoración que el ratón convencional. Lin y colaboradores (2015), en su comparativa, encuentran mayor facilidad de uso para el ratón convencional, y mayor comodidad, aunque no estadísticamente significativa, para el ratón convencional y el *Rollermouse*, frente a un *touchpad* y un *trackball*. Finalmente, Schmid y colaboradores (2015), en su comparación del ratón convencional frente al vertical, obtienen similares valoraciones de comodidad para ambos dispositivos.

Por nuestra parte, en el cuestionario de valoración cumplimentado por los participantes, y en relación a los estudios arriba comentados, encontramos una mayor comodidad global para el *trackball* rojo, seguida del ratón vertical y el ratón convencional, posicionamiento idéntico en la valoración de comodidad de agarre y sólo modificado en la comodidad postural, situándose el ratón convencional en segundo lugar, por detrás del *trackball* rojo. En cuanto a la satisfacción general, observamos que el ratón convencional es el mejor posicionado, seguido del ratón vertical y del *Rollermouse*, coincidiendo con la valoración de la precisión, aspecto igualmente incluido en el cuestionario. Otros aspectos no registrados en el resto de estudios fueron recogidos, como perspectivas de uso, diseño, versatilidad, tiempo de adaptación o disposición de botones.

5.3. RANKING DE DISPOSITIVOS

Finalmente, decidimos establecer, ante el considerable número de dispositivos a estudio, un *ranking* general con aquellos parámetros que consideramos importantes y que estaban constituidos por un lado, por las valoraciones de nuestros participantes en relación a la comodidad, la precisión y la satisfacción general; por otro lado, por la percepción de carga mental de trabajo a través del sistema NASA-TLX; y finalmente, con aquellos datos registrados respecto a los tiempos invertidos durante el manejo de cada dispositivo (test de Fitts y tiempos controlando la imagen histológica), los referidos al *software* Mousotron que traducían movimientos y pulsación de botones, y el registro eléctrico de la musculatura seleccionada.

Encontramos una mayor valoración media para el ratón convencional y el ratón vertical, con iguales medias, pero con una dispersión de los datos algo superior en el ratón vertical, posicionándose éste en segundo lugar, respecto al convencional, que fue el mejor posicionado de los 10 dispositivos estudiados. Observamos en este ranking la existencia de alternativas como el dispositivo Rollermouse, el lápiz óptico y, en menor medida, los *trackballs*, que podrían representar posibilidades a considerar por parte de los potenciales usuarios de imágenes tisulares digitalizadas en el campo de la patología digital al plantearse el diseño de sus estaciones de trabajo. Por otra parte, el *touchpad* empleado en este estudio tuvo en general un peor comportamiento, tanto en consecución de objetivos y tiempos registrados, como en una mayor carga mental de trabajo percibida y una mayor actividad electromiográfica registrada. En relación al Ergopointer, un dispositivo diseñado de manera exclusiva para el manejo de dichas imágenes, hallamos unos malos resultados, tanto globales como de modo pormenorizado, y sólo tuvo un relativo buen comportamiento en los registros electromiográficos, aunque teniendo en cuenta la particularidad de requerir el uso de la mano contralateral, a diferencia del resto de dispositivos. Quizás este mal posicionamiento se deba a que los participantes del estudio no eran profesionales en el uso del microscopio. Por último, mencionar el dispositivo peor posicionado de manera general, el Leap Motion, sistema que, pese a ser el mejor valorado en diseño, fue el que peor resultados obtuvo en el resto de variables estudiadas.



Tesis Doctoral. Manejo de la imagen digital en Anatomía Patológica.
Análisis comparativo de dispositivos de entrada.

5.4. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

La limitación principal de nuestro estudio es la constituida por el tamaño de la población. El número de participantes en nuestro trabajo, si bien es más homogéneo que el descrito por otros autores, también es reducido y sería necesario ampliar dicho número para poder extrapolar los resultados. También es cierto que se trata de una comparación no antes descrita en cuanto al número de dispositivos (10) y sin ningún tipo de financiación externa, ni formando parte de ningún proyecto o grupo de trabajo establecido.

Igualmente, el perfil del participante podría considerarse como inadecuado porque no son patólogos y un especialista en el campo de la microscopía podría representar mejor a dicha población. Sin embargo, lo que pretendemos con este trabajo es una mejor configuración de la estación de trabajo del futuro microscopista y no hemos basado los resultados en interpretaciones microscópicas, en las que la experiencia del participante tendría un papel importante, sino en un comportamiento del usuario cuando hace uso de la imagen tisular digitalizada, independientemente del contenido de la misma.

Dados los hallazgos electromiográficos, en donde no hemos encontrado resultados estadísticamente significativos particularizando cada músculo en relación a cada dispositivo, sino por grupos o de manera general, quizás un mayor tiempo de exposición a la prueba de electromiografía podría poner de manifiesto diferencias. Incluso la selección de otros músculos podría considerarse (extensor cubital y radial del carpo, pronador y supinador cortos o músculos interóseos).

Por otra parte, podría tenerse en cuenta la incorporación de otros tipos de medida como la goniometría o mediante sistemas de captura de vídeo y reconstrucción del movimiento, para estudiar posiciones y angulaciones de las distintas articulaciones. Del mismo modo, se podría incluir en el estudio algún dispositivo adicional del tipo pantalla multitáctil u otros y tratar de estandarizar la configuración de los distintos dispositivos desde el punto de vista de los cpi, o también incluir distintos tipos de visores de preparaciones digitales.



Tesis Doctoral. Manejo de la imagen digital en Anatomía Patológica.
Análisis comparativo de dispositivos de entrada.

6. CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

1 – La metodología diseñada para este estudio nos permite comparar dispositivos de entrada cuando se utilizan con imágenes histológicas digitalizadas.

2 - Existen diferencias en la carga mental de trabajo percibida cuando se utilizan distintos dispositivos de entrada con imágenes histológicas digitalizadas, de modo que el ratón vertical es el mejor posicionado, seguido del ratón convencional y siendo los que mayor carga de trabajo generan el *touchpad* y el Leap Motion.

3 - La musculatura estudiada presenta diferencias electromiográficas a nivel global con los dispositivos de entrada estudiados, siendo el Rollermouse y el *trackball* azul los que menos actividad electromiográfica generan y el *touchpad* y el *trackball* rojo los que mayores demandas ocasionan.

4 - La movilidad, en el sentido de desplazamientos y pulsación de botones, ha sido significativamente distinta, con unos menores registros para el ratón vertical y el *trackball* rojo y una mayor actividad y por tanto, peor comportamiento, con los dispositivos Ergopointer y Leap Motion.

5 - Hemos establecido un *ranking* general desde el punto de vista ergonómico, de modo que el ratón convencional es el mejor posicionado, seguido del ratón vertical, Rollermouse, lápiz óptico, *trackball* azul, *trackball* rojo, *trackball* negro, *touchpad*, Ergopointer y, finalmente, el dispositivo Leap Motion.



Tesis Doctoral. Manejo de la imagen digital en Anatomía Patológica.
Análisis comparativo de dispositivos de entrada.

7. BIBLIOGRAFÍA

7. BIBLIOGRAFÍA.

Aarås A, Dainoff M, Ro O, Thoresen M. Can a More Neutral Position of the Forearm When Operating a Computer Mouse Reduce the Pain Level for Visual Display Unit Operators? A Prospective Epidemiological Intervention Study: Part II. *International Journal of Human-Computer Interaction* 2001; 13(1):13-40.

Abels E, Pantanowitz L. Current state of the regulatory trajectory for Whole Slide Imaging devices in the USA. *J Pathol Inform.* 2017;15:23.

Accot J, Zhai S. Performance evaluation of input devices in trajectory-based tasks: An application of the Steering law. In *Proc. ACM CHI* 1999:466-472.

Agarabi M, Bonato P, De Luca CJ. A sEMG-based method for assessing the design of computer mice. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2004;4:2450-3.

Ahmad I, Ansari F, Dey UK. A Review of EMG recording technique. *IJEST.* 2012;4(2):530-9.

Alcaraz-Mateos E, Caballero-Alemán F. Problemas músculo-esqueléticos en patólogos españoles. Prevalencia y factores de riesgo. *Rev Esp Patol.* 2015;48:9-13.

Alcaraz-Mateos E, Caballero-Alemán F, Párraga-Ramírez MJ, Poblet E. Simulación médica en punción aspiración con aguja fina utilizando maniqués. Experiencia docente universitaria. *Rev Esp Patol* 2016;49:139-43. (a)

Alcaraz-Mateos E, Tortosa-Martínez I, Alcolea-Guardiola C, Estévez-Ligero S, Abellán-Palazón A, Kundisova A. The technicians' role in digital pathology implementation. Searching optimization. *Diagnostic Pathology*, 2016;2:231. (b)

Alcaraz-Mateos E, Caballero-Alemán F, Albarracín-Ferrer M, Cárceles-Moreno F, Hernández-Gómez R, Hernández-Kakauridze S, *et al.* Research on devices for handling whole slide images on pathology workstations. An ergonomic outlook. *Diagnostic Pathology* 2016; 2:232. (c)



Alcaraz-Mateos E , Turic I , Nieto-Olivares A , Perez-Ramos M , Martinez Gonzalez-Moro I , Poblet E. Head-tracking as an interface device for image manipulation in digital pathology: a comparative study. *Modern Pathology* 2018;31:583.

Alfaro L, Poblet E, Catalá P, Navead A, García-Rojo M. Compatibilización de equipos de microscopía virtual: análisis de alternativas con software de imágenes panorámicas. *Rev Esp Patol.* 2011;44(1):8-16.

Al-Janabi S, Huisman A, Van Diest PJ. Digital pathology: current status and future perspectives. *Histopathology.* 2012;61(1):1-9.

Al-Janabi S, Huisman A, Vink A, Leguit RJ, Offerhaus GJ, ten Kate FJ, *et al.* Whole slide images for primary diagnostics of gastrointestinal tract pathology: a feasibility study. *Hum Pathol.* 2012;43(5):702-7.

Al-Janabi S, Huisman A, Willems SM, Van Diest PJ. Digital slide images for primary diagnostics in breast pathology: a feasibility study. *Hum Pathol.* 2012;43(12):2318-25.

Allen TC. Digital pathology and federalism. *Arch Pathol Lab Med.* 2014;138(2):162-5.

Allen TC. Intradepartmental consultation: what is the pathologist's legal liability? *Arch Pathol Lab Med.* 2014;138(5):589-91.

Almodóvar A, Galiana ML, Hervás P, Pinilla FJ. VII Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2012. Disponible en:[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/OBSERVATORIO/Informe%20\(VII%20ENCT\).pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/OBSERVATORIO/Informe%20(VII%20ENCT).pdf)

Andersen JH, Fallentin N, Thomsen JF, Mikkelsen S. Risk factors for neck and upper extremity disorders among computers users and the effect of interventions: an overview of systematic reviews. *PLoS One.* 2011 12;6(5):e19691.

Araújo T, Aresta G, Castro E, Rouco J, Aguiar P, Eloy C, *et al.* Classification of breast cancer histology images using Convolutional Neural Networks. *PLoS One.* 2017;12(6):e0177544.

Arnaut LY, Greenstein JS. Is Display/Control Gain a Useful Metric for Optimizing an Interface? *Human Factors* 1990;32(6):651-663.

Avellaneda AI. Análisis electromiográfico de la musculatura abdominal y paravertebral durante la realización de ejercicios basados en el método Pilates [Tesis Doctoral]. Murcia: Universidad de Murcia. Facultad de Medicina; 2013.

Ayad E. Virtual telepathology in Egypt, applications of WSI in Cairo University. *Diagn Pathol*. 2011 30;6 Suppl 1:S1.

Azizi S, Bayat S, Yan P, Tahmasebi A, Nir G, Kwak JT, *et al*. Detection and grading of prostate cancer using temporal enhanced ultrasound: combining deep neural networks and tissue mimicking simulations. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2017;12(8):1293-1305.

Bachmann D, Weichert F, Rinkenauer G. Evaluation of the leap motion controller as a new contact-free pointing device. *Sensors*. 2014 24;15(1):214-33.

Barba MC. El dictamen pericial en ergonomía y psicosociología aplicada. Editorial Tébar, Madrid 2007.

Baydur H, Ergör A, Demiral Y, Akalın E. Effects of participatory ergonomic intervention on the development of upper extremity musculoskeletal disorders and disability in office employees using a computer. *J Occup Health*. 2016 16;58(3):297-309.

Bell DG. The influence of air temperature on the EMG/force relationship of the quadriceps. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1993;67(3):256-60.

Bergqvist U, Wolgast E, Nilsson B, Voss M. The influence of VDT work on musculoskeletal disorders, *Ergonomics* 1995;38:754-762.

Betke M, Gips J, Fleming P. The camera mouse: visual tracking of body features to provide computer access for people with severe disabilities. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2002;10(1):1-10.

Blake CA, Lavoie HA, Millette CF. Teaching medical histology at the University of South Carolina School of Medicine: Transition to virtual slides and virtual microscopes. *Anat Rec B New Anat*. 2003;275(1):196-206.

Bolek JE. Use of multiple-site performance-contingent SEMG reward programming in pediatric rehabilitation: a retrospective review. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2006;31(3):263-72.



Bonell CE, Cherniz AS, Tabernig CB. Estudio de las características temporales del electromiograma del músculo tibial anterior durante la marcha hemiparética. *Rev Bras Eng Biomed.* 2007;23(3):253-62.

Boyce BF. An update on the validation of whole slide imaging systems following FDA approval of a system for a routine pathology diagnostic service in the United States. *Biotech Histochem.* 2017;92(6):381-389.

Boysen PG, Daste L, Northern T. Multigenerational Challenges and the Future of Graduate Medical Education. *Ochsner J.* 2016;16(1):101-7.

Brown JN, Albert WJ, Croll J. A new input device: comparison to three commercially available mice. *Ergonomics.* 2007;50(2):208-27.

Bueno G, Fernández-Carrobles MM, Deniz O, García-Rojo M. New Trends of Emerging Technologies in Digital Pathology. *Pathobiology.* 2016;83(2-3):61-9.

Byers JC, Bittner AC, Hill SG. Traditional and raw Task Load Index (TLX) correlations: Are paired comparisons necessary?. En A. Mital (ed.) *Advances in industrial ergonomics and safety.* Vol. 1. London: Taylor and Francis 1989:481-485.

Campbell WS, Hinrichs SH, Lele SM, Baker JJ, Lazenby AJ, Talmon GA, *et al.* Whole slide imaging diagnostic concordance with light microscopy for breast needle biopsies. *Hum Pathol.* 2014;45(8):1713-21.

Campbell WS, Lele SM, West WW, Lazenby AJ, Smith LM, Hinrichs SH. Concordance between whole-slide imaging and light microscopy for routine surgical pathology. *Hum Pathol.* 2012;43(10):1739-44.

Cañas JJ, Waerns Y. *Ergonomía cognitiva. Aspectos psicológicos de la interacción de las personas con la tecnología de la información.* Madrid: Editorial Médica Panamericana. 2001.

Card SK, English WK, Burr BJ. Evaluation of Mouse, Rare-Controlled Isometric Joystick, Step Keys, and Text Keys for Text Selection on a CRT. *Ergonomics* 1978;8:1-163.

Carnahan H, Aguilar O, Malla A, Norman R. An investigation into movement planning and execution deficits in individuals with schizophrenia. *Schizophr Res.* 1997;23(3):213-21.

Casali JG, Wierwille WW. A comparison of rating scale, secondary task, physiological and primary task workload estimation techniques in a simulated flight task emphasizing communications load. *Human Factors* 1983;25:623-641.

Cavalcanti M, Vieira T. Surface electromyography: Why, when and how to use it. *Rev Andal Med Deporte.* 2011;4(1):17-28.

Ceruzzi PE. A history of modern computing. The MIT Press, Cambridge. 2003.

Charabati S, Bracco D, Mathieu PA, Hemmerling TM. Comparison of four different display designs of a novel anaesthetic monitoring system, the 'integrated monitor of anaesthesia (IMA)'. *Br J Anaesth.* 2009;103(5):670-7.

Chen HM, Leung CT. The effect on forearm and shoulder muscle activity in using different slanted computer mice. *Clin Biomech.* 2007;22(5):518-23.

Chen JY, Seagull FJ, Nagy P, Lakhani P, Melhem ER, Siegel EL, *et al.* Computer input devices: neutral party or source of significant error in manual lesion segmentation? *J Digit Imaging.* 2011;24(1):135-41.

Choi C, Na Y, Rim B, Kim Y, Kang S, Kim J. An SEMG computer interface using three myoelectric sites for proportional two-dimensional cursor motion control and clicking for individuals with spinal cord injuries. *Med Eng Phys.* 2013;35(6):777-83.

Cilveti S, Idoate V. Movimientos repetidos de miembro superior. En: *Protocolos de vigilancia sanitaria específica.* Ministerio de Sanidad y Consumo. Madrid. 2000. Disponible en: <https://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/movimientos.pdf>

Cook CJ, Burgess-Limerick R, Chang, S. The prevalence of neck and upper extremity musculoskeletal symptoms in computer mouse users. *International Journal of Industrial Ergonomics.* 2000;26:347-356.

Cook CJ and Kothiyal. Influence of mouse position on muscular activity in the neck, shoulder and arm in computer users. *Applied Ergonomics* 1998;29:439–443.



Cooper GE, Harper RP. The use of pilot ratings in the evaluation of aircraft handling qualities (NASA Ames Technical Report NASA TN-D-5153). Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center. 1969.

Cram JR, Kasman GS, Holtz J. En: Introduction to surface electromyography. Gaithersburg: Aspen. 1998.

Damann EA, Kroemer KHE. Wrist posture during computer mouse usage, Proceedings of the Human Factors 39th annual meeting, Oct 9-13, San Diego. 1995:625-629.

Darragh AR, Harrison H, Kenny S. Effect of an ergonomics intervention on workstations of microscope workers. Am J Occup Ther. 2008;62(1):61-9.

De Arquer I, Nogareda C. NTP 544: estimación de la carga mental del trabajo: el Método NASA-TLX. Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo, Madrid, 2000.

De Korte EM, van Lingen P. The effect of speech recognition on working postures, productivity and the perception of user friendliness. Appl Ergon. 2006;37(3):341-7.

De Krom MC, Knipschild PG, Kester AD, Thijs C, Boekkooi PF, Spaaris F *et al.* Carpal tunnel síndrome: prevalence in the general population. Journal of Clinical Epidemiology 1992;45:373-376.

De la Barrera EJ y Milner TE. The effects of skinfold thickness on the selectivity of surface EMG. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. 1994;93:91-9.

De Vicente A, Díaz C, Zimmermann M, Galiana L. El trastorno musculoesquelético en el ámbito laboral en cifras. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. [online, consultado: diciembre 2017]. Disponible en: <http://www.oect.es/Observatorio/5%20Estudios%20tecnicos/Otros%20estudios%20tecnicos/Publicado/Ficheros/EI%20TME%20en%20el%20%C3%A1mbito%20laboral%20en%20cifras.pdf>

Dennerlein JT, Johnson PW. Changes in upper extremity biomechanics across different mouse positions in a computer workstation. Ergonomics 2006 15;49(14):1456-69.

Díaz E, Rubio S, Martín-García J, Luceño L. Estudio psicométrico del índice de carga mental NASA-TLX con una muestra de trabajadores españoles. *Rev Psicol Trab Organ.* 2010;26:191-199.

Dickinson JB, Winston D, Ryan LA. Order effects and the weighting process in workload assessment. *Applied ergonomics* 1993;24:357-361.

Dix D, Finlay JE, Abowd GD, Beale R. Introduction. En: Dix D, Finlay JE, Abowd GD, Beale R. *Human-Computer Interaction*. 3ª Edición. Pearson Education Limited, 2004:1-8.

Ebert LC, Hatch G, Ampanozi G, Thali MJ, Ross S. You can't touch this: touch-free navigation through radiological images. *Surg Innov.* 2012;19(3):301-7.

Epps BW. Comparison of six cursor control devices based on Fitts' law models. In *Proceedings of the Human Factors Society 30th Annual Meeting* 1986:327-331.

Erol Barkana D, Açık A, Duru DG, Duru AD. Improvement of design of a surgical interface using an eye tracking device. *Theor Biol Med Model.* 2014 7;11 Suppl 1:S4.

EU-OSHA. Agencia europea para la seguridad y la salud en el trabajo. Trastornos musculoesqueléticos, 2010 [*online*, consultado: diciembre 2017]. Disponible en: <https://osha.europa.eu/es/themes/musculoskeletal-disorders>.

Eurostat. Estadísticas sobre sociedad y economía digital - Hogares y particulares, 2017 [*online*, consultado: diciembre 2017]. Disponible en: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Digital_economy_and_society_statistics_-_households_and_individuals/es&oldid=349100

Feathers DJ, Rollings K, Hedge A. Alternative computer mouse designs: performance, posture, and subjective evaluations for college students aged 18-25. *Work.* 2013;44 Suppl 1:S115-22.

Fernández-Carrobles MM, Tadeo I, Bueno G, Noguera R, Déniz O, Salido J *et al.* TMA vessel segmentation based on color and morphological features: application to angiogenesis research. *Scientific World Journal.* 2013;5:263190.

Fernström E, Ericson MO. Computer mouse or Trackpoint--effects on muscular load and operator experience. *Appl Ergon.* 1997;28(5-6):347-54.



Ferrer R, Dalmau I. Revisión del concepto de carga mental: evaluación, consecuencias y proceso de normalización. *Anuario de Psicología* 2004;35:521-545.

Fitts PM. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology* 1954;47:381-391.

Flavin RJ, Guerin M, O'Briain DS. Occupational problems with microscopy in the pathology laboratory. *Virchows Arch.* 2010;457(4):509-11.

Francis G, Oxtoby C. Building and testing optimized keyboards for specific text entry. *Hum Factors.* 2006;48(2):279-87.

Franzblau A, Flaschner D, Albers JW, Blitz S, Werner R, Armstrong T. Medical screening of office workers for upper extremity cumulative trauma disorders, *Archives of Environmental Health.* 1993;48:164-170.

Franssen JLM, Bron C, Dommerholt J. Puntos gatillo miofasciales en el lugar de trabajo. En: Fernandez de las Peñas C, Cleland J, Huijbregts PA. Síndromes dolorosos en el cuello y el miembro superior. Barcelona: Elsevier: 2013.

Frigo C, Crenna P. Multichannel SEMG in clinical gait analysis: a review and state-of-the-art. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2009; 24: 236-45.

Fritzsche FR, Ramach C, Soldini D, Caduff R, Tinguely M, Cassoly E, *et al.* Occupational health risks of pathologists--results from a nationwide online questionnaire in Switzerland. *BMC Public Health.* 2012;12:1054.

García-Rojo M, Bueno G, González-García J, Carbajo Vicente M. Preparaciones digitales en los servicios de Anatomía Patológica (I). Aspectos básicos de imagen digital. *Rev Esp Patol* 2005;38:69-77.

García-Rojo M, Conde AF, Ordi J, Ruiz-Martín J, Corominas JM, Álvarez-Alegret R, Alfaro L, *et al.* Guía práctica para la implantación de la patología digital; in Guerra Merino I (ed): Libro Blanco de la Anatomía Patológica en España 2015. Vitoria, Sociedad Española de Anatomía Patológica, 2015:247-278.

García-Rojo M, Ordi J. Trying to understand digital pathology before we move to computational pathology. *Pathobiology.* 2016;83(2-3):57-60.

García-Rojo M. International clinical guidelines for the adoption of digital pathology: a review of technical aspects. *Pathobiology*. 2016;83(2-3):99-109.

García-Rojo M. International Clinical Guidelines for the adoption of digital pathology: a review of technical aspects. *Pathobiology* 2016;83:99-109.

George E. Occupational hazard for pathologists: microscope use and musculoskeletal disorders. *Am J Clin Pathol*. 2010;133(4):543-8.

Gertych A, Ing N, Ma Z, Fuchs TJ, Salman S, Mohanty S, *et al*. Machine learning approaches to analyze histological images of tissues from radical prostatectomies. *Comput Med Imaging Graph*. 2015;46:197-208.

Goldberg K, Faridani S, Alterovitz R. Two large open-access datasets for Fitts' law of human motion and a succinct derivation of the square-root variant. *IEEE Trans. Human-Mach. Syst*. 2015;45(1):62-73.

González Gutiérrez JL, Moreno-Jimenez B, Garrosa Hernández E, López-López A. Carga mental y fatiga en servicios especiales de enfermería. *Rev. Latinoam. Psicol*. 2005;37:477-492.

González-Muñoz EL, Gutiérrez-Martínez RE. Contribution of mental workload to job stress in industrial workers. *Work*. 2007;28(4):355-61.

Goodman G, Kovach L, Fisher A, Elsesser E, Bobinski D, Hansen J. Effective interventions for cumulative trauma disorders of the upper extremity in computer users: practice models based on systematic review. *Work*. 2012;42(1):153-72.

Gopher D, Braune R. On the psychophysics of workload: Why bother with subjective measures?. *Human Factors* 1984;26:519-532.

Gopher D, Donchin E. Workload: An Examination of The Concept. En K. Boff, L. Kaufman Y J.P. Thomas (Eds.), *Handbook of Perception And Human Performance*. 1986.

Graham AR, Bhattacharyya AK, Scott KM, Lian F, Grasso LL, Richter LC, *et al*. Virtual slide telepathology for an academic teaching hospital surgical pathology quality assurance program. *Hum Pathol*. 2009;40(8):1129-36.



Gump A, LeGare M, Hunt DL. Application of Fitts' law to individuals with cerebral palsy. *Percept Mot Skills*. 2002;94(3 Pt 1):883-95.

Gupta AA, Mhaske SA, Ahmad MA, Yuwanati MB, Prabhu S, Pardhe N. Ergonomic Microscope: Need of the Hour. *J Clin Diagn Res*. 2015;9(5):ZC62-5.

Gustafsson E, Hagberg M. Computer mouse use in two different hand positions: exposure, comfort, exertion and productivity. *Appl Ergon*. 2003;34(2):107-13.

Hacker W. Carga mental de trabajo. En Stellman (Ed.), *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales 1998;29:44-46.

Hägg GM, Oster J, Byström S. Forearm muscular load and wrist angle among automobile assembly line workers in relation to symptoms. *Appl Ergon*. 1997;28(1):41-7.

Haines H, McAtamney L. Applying ergonomics to improve microscopy work. *USA Microsc Anal* 1993;1:17-19.

Hale CS, Qian M, Ma MW, Scanlon P, Berman RS, Shapiro RL, *et al*. Mitotic rate in melanoma: prognostic value of immunostaining and computer-assisted image analysis. *Am J Surg Pathol*. 2013;37(6):882-9.

Hancock PA, Chignell MH. Towards A Theory Of Mental Work Load: Stress And Adaptability In Human-Machine Systems. *Proceedings Of The IEEE International Conference On Systems, Man And Cybernetics*, New York: IEEE Society 1986.

Hancock PA. Effects of control order, augmented feedback, input device and practice on tracking performance and perceived workload. *Ergonomics* 1996;39:1146-62.

Harisinghani MG, Blake MA, Saksena M, Hahn PF, Gervais D, Zalis M, *et al*. Importance and effects of altered workplace ergonomics in modern radiology suites. *Radiographics*. 2004;24:615-27.

Hart SG, Childress ME, Bortolussi M. Defining The Subjective Experience of Workload. *Proceedings Of The Twenty-Fifth Annual Meeting Of The Human Factors Society* 1981:527-531.

Hart SG, Staveland LE. Development of Nasa-Tlx (Task Load Index): Results Of Empirical And Theoretical Research. En P. A. Hancock Y N. Meshkati (Eds.), Human Mental Workload. North-Holland, Amsterdam. 1998:139-183.

Hartman DJ. Enhancing and customizing laboratory information systems to improve/Enhance pathologist workflow. *Surg Pathol Clin*. 2015;8(2):137-43.

Harvey R, Peper E. Surface Electromyography and mouse use position, *Ergonomics* 1997;40:781-789.

Hawi N, Liodakis E, Musolli D, Suero EM, Stuebig T, Claassen L, *et al*. Range of motion assessment of the shoulder and elbow joints using a motion sensing input device: a pilot study. *Technol Health Care*. 2014 1;22(2):289-95.

Hedge A, Feathers D, Rollings K. Ergonomic comparison of five mouse designs: Performance and posture differences, En: *Advances in Ergonomics Modeling and Usability Evaluation*. Khalid H, Hedge A, Ahram T, eds, CRC Press; Taylor and Francis, 2011.

Henricks WH, Roumina K, Skilton BE, Ozan DJ, Goss GR. The utility and cost effectiveness of voice recognition technology in surgical pathology. *Mod Pathol*. 2002;15(5):565-71.

Herda TJ, Housh TJ, Fry AC, Weir JP, Schilling BK, Ryan ED *et al*. A noninvasive, log-transform method for fiber type discrimination using mechanomyography J. *Electromyogr. Kinesiol*. 2010;20:787–94.

Ho J, Ahlers SM, Stratman C, Aridor O, Pantanowitz L, Fine JL, *et al*. Can digital pathology result in cost savings? A financial projection for digital pathology implementation at a large integrated health care organization. *J Pathol Inform*. 2014 28;5(1):33.

Hoffmann ER, Chan AH, Tsang SN. Bimanual and unimanual convergent goal-directed movement times. *J Mot Behav*. 2015;47(3):232-45.

Houwink A, Oude Hengel KM, Odell D, Dennerlein JT. Providing training enhances the biomechanical improvements of an alternative computer mouse design. *Hum Factors*. 2009;51(1):46-55.



Iglesias M, Corominas JM, Rojo F, Sanchez L, Garcia JF, Martinez A, *et al.* Quality assessment Policy for HER2 testing in breast cancer by monitoring of positivity rates: from quality control to epidemiologic data in Spanish centers. *Modern Pathology* 2015;28:494-510.

Iglesias M, Pérez-Mías B, Rojo F, Hernández-Iglesias T, Martínez A. Calidoscope: A three-dimensional tool for quality control in breast cancer pathology. *Modern Pathology* 2017;30:27-81.

Juul-Kristensen B, Laursen B, Pilegaard M, *et al.* Physical workload during speech recognition and traditional computer work. *Ergonomics* 2002;47:119–33.

Karlqvist L, Hagberg M, Selin K. Variation in upper limb posture and movement during word processing with and without mouse use, *Ergonomics* 1994;37:1261-1267.

Karlqvist L, Hagberg M, Wenemark M, Anell R. Musculoskeletal symptoms among computer assisted design (CAD) operators and evaluation of a self-assessment questionnaire, *International Journal of Occupational and Environmental Health* 1996;2:185-194.

Karlqvist L. Assessment of physical work load at visual display unit workstations ergonomic applications and gender aspects, PhD Thesis, Department of Occupational Health, Karolinska Hospital, Stockholm, Sweden 1997.

Karlqvist LK, Bernmark E, Ekenvall L, Hagberg M, Isaksson A, Rostö T. Computer mouse position as a determinant of posture, muscular load and perceived exertion. *Scand J Work Environ Health*. 1998;24(1):62-73.

Keller B, Chen W, Gavrielides MA. Quantitative assessment and classification of tissue-based biomarker expression with color content analysis. *Arch Pathol Lab Med*. 2012;136(5):539-50.

Kerr R. Movement control and maturation in elementary-grade children. *Percept Mot Skills*. 1975;41(1):151-4.

Kim DG, Lee BS, Lim SE, Kim DA, Hwang SI, Yim YL, *et al.* The selection of the appropriate computer interface device for patients with high cervical cord injury. *Ann Rehabil Med*. 2013;37(3):443-8.

Kofler M, Kreczy A, Gschwendtner A. "Occupational backache" - surface electromyography demonstrates the advantage of an ergonomic versus a standard microscope workstation. *Eur J Appl Physiol.* 2002;86(6):492-7.

Korbar B, Olofson AM, Miraflor AP, Nicka CM, Suriawinata MA, Torresani L, *et al.* Deep Learning for Classification of Colorectal Polyps on Whole-slide Images. *J Pathol Inform.* 2017;25:30.

Kotani K, Horii K. An analysis of muscular load and performance in using a pen-tablet system. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 2003;22(2):89-95.

Kreczy A, Kofler M, Gschwendtner A. Underestimated health hazard: proposal for an ergonomic microscope workstation. *Lancet.* 1999 13;354(9191):1701-2.

Krippendorf BB, Lough J. Complete and rapid switch from light microscopy to virtual microscopy for teaching medical histology. *Anat Rec B New Anat.* 2005;285(1):19-25.

Krupinski EA. Virtual slide telepathology workstation of the future: lessons learned from teleradiology. *Hum Pathol.* 2009;40(8):1100-11.

Kumar R, Kumar S. A Comparison of Muscular Activity Involved in the Use of Two Different Types of Computer Mouse. *Int J Occup Saf Ergon.* 2015; 14:(3): 305-11.

La Serna N, Román UN. Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes. *Revista de Investigación de Sistemas e Informática* 2009;6:9-16.

Lahanas V, Loukas C, Georgiou K, Lababidi H, Al-Jaroudi D. Virtual reality-based assessment of basic laparoscopic skills using the Leap Motion controller. *Surg Endosc.* 2017:2.

Lee TH. Ergonomic comparison of operating a built-in touch-pad pointing device and a trackball mouse on posture and muscle activity. *Percept Mot Skills* 2005;101(3):730-6.

Lee YH, Su MC. Design and validation of a desk-free and posture-independent input device. *Appl Ergon.* 2008;39(3):399-406.

Lee DL, Fleisher J, McLoone HE, Kotani K, Dennerlein JT. Alternative computer mouse design and testing to reduce finger extensor muscle activity during mouse use. *Hum Factors.* 2007;49(4):573-84.



Lin MY, Young JG, Dennerlein JT. Evaluating the effect of four different pointing device designs on upper extremity posture and muscle activity during mousing tasks. *Appl Ergon*. 2015;47:259-64.

Lintula M, Nevala-Puranen N, Louhevaara V. Effects of Ergorest arm supports on muscle strain and wrist positions during the use of the mouse and keyboard in work with visual display units: A work site intervention. *Int J Occup Saf Ergon*. 2001;7(1):103-16.

López AM, Graham AR, Barker GP, Richter LC, Krupinski EA, Lian F, *et al*. Virtual slide telepathology enables an innovative telehealth rapid breast care clinic. *Hum Pathol*. 2009;40(8):1082-91.

López C, Callau C, Bosch R, Korzynska A, Jaén J, García-Rojo M, *et al*. Development of automated quantification methodologies of immunohistochemical markers to determine patterns of immune response in breast cancer: a retrospective cohort study. *BMJ Open*. 2014 4;4(8):e005643.

López M, Martín J, Luceño L, Jaén M. Síndrome de Burnout: Cuando los trabajadores se queman. *Cuadernos de Seguridad* 2008;219:109-111.

Lorusso A, Bruno S, Caputo F, L'Abbate N. Risk factors for musculoskeletal complaints among microscope workers. *G Ital Med Lav Ergon*. 2007;29(4):932-7.

MacKenzie, IS. A note on the information-theoretic basis for Fitts' law. *Journal of Motor Behavior* 1989;21:323–330.

Mackenzie IS, Sellen A, Buxton W. A comparison of input devices in elemental pointing and dragging tasks. En: *Proceedings ACM CHI* 1991:161-166.

Mackinnon SE, Novak CB. Repetitive use and static postures: a source of nerve compression and pain. *Journal of Hand Therapy* 1997;10:151-159.

Man DW, Wong MS. Evaluation of computer-access solutions for students with quadriplegic athetoid cerebral palsy. *Am J Occup Ther*. 2007;61(3):355-64.

Manzey D, Luz M, Mueller S, Dietz A, Meixensberger J, Strauss G. Automation in surgery: the impact of navigated-control assistance on performance, workload,

situation awareness, and acquisition of surgical skills. *Hum Factors*. 2011;53(6):584-99.

Marzilli TS, Shea JB. Effects of smoking abstinence on movement regulation. *Percept Mot Skills*. 2000;90(2):624-30.

Massó N, Rey F, Romero D, Gual G, Costa L, Germán A. Aplicaciones de la electromiografía de superficie en el deporte. *Apunts Med Sport*. 2010; 45(165):127-36.

McKay WP, Vargo M, Chilibeck PD, Daku BL. Effects of ambient temperature on mechanomyography of resting quadriceps muscle. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2013;38(3):227-33.

McLennan NL, Georgiou NL, Mattingley JL, Bradshaw JL, Chiu E. Motor imagery in Huntington's disease. *J Clin Exp Neuropsychol*. 2000;22(3):379-90.

McWalter EJ, Wirth W, Siebert M, von Eisenhart-Rothe RM, Hudelmaier M, Wilson DR, *et al*. Use of novel interactive input devices for segmentation of articular cartilage from magnetic resonance images. *Osteoarthritis Cartilage*. 2005;13(1):48-53.

Mione S, Valcke M, Cornelissen M. Evaluation of virtual microscopy in medical histology teaching. *Anat Sci Educ*. 2013;6(5):307-15.

Molin J, Lundström C, Fjeld M. A comparative study of input devices for digital slide navigation. *J Pathol Inform*. 2015 24;6:7.

Monfort-Pañego M, Vera-García FJ, Sánchez-Zuriaga D, Sarti- Martínez MA. Electromyographic studies in abdominal exercises: a literatura synthesis. *J Manip Physiol Ther*. 2009;32:232-44.

Moroney WF, Biers DW, Eggemeier FT. Some measurement and methodological considerations in the application of subjective workload measurement techniques. *The international journal of aviation psychology* 1995;5:87-106.

Nap M, Teunissen R, Pieters M. A travel report of the implementation of virtual whole slide images in routine surgical pathology. *APMIS*. 2012;120(4):290-7.



Nap M. Network consumption and storage needs when working in a full-time routine digital environment in a large nonacademic training hospital. *Pathobiology*. 2016;83(2-3):110-20.

Nassar A, Cohen C, Agersborg SS, Zhou W, Lynch KA, Albitar M, *et al*. Trainable immunohistochemical HER2/neu image analysis: a multisite performance study using 260 breast tissue specimens. *Arch Pathol Lab Med*. 2011;135(7):896-902.

Nielen K. Ergonomic microscope workstation. *Lancet*. 2000;355(9202):502.

Noah B, Li J, Rothrock L. An evaluation of touchscreen versus keyboard/mouse interaction for large screen process control displays. *Appl Ergon*. 2017;64:1-13.

Nygren TE. Psychometric properties of subjective workload measurement techniques: Implications for their use in the assessment of perceived mental workload. *Human Factors* 1991;33:17-33.

OCU. Organización de Consumidores y Usuarios. Estudio sobre el riesgo de adicción a internet y al móvil. Nota de prensa, 2014. [*online*, consultado: diciembre 2017]. Disponible en: <https://www.ocu.org/organizacion/prensa/notas-de-prensa/2014/engancha-dos>.

Odell D, Johnson P. Evaluation of flat, angled, and vertical computer mice and their effects on wrist posture, pointing performance, and preference. *Work*. 2015;52(2):245-53.

O'Donnell R, Eggemeier FT. Workload assessment methodology. En K. R. Boff, L. Kaufman y J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance* 1986;42,1-49.

Onyebeke LC, Young JG, Trudeau MB, Dennerlein JT. Effects of forearm and palm supports on the upper extremity during computer mouse use. *Appl Ergon*. 2014;45(3):564-70.

ORDEN SCO/3107/2006, de 20 de septiembre, por la que se aprueba y publica el programa formativo de la especialidad de Anatomía Patológica. BOE núm. 242, de 10 de octubre de 2006.

Ordi O, Bombí JA, Martínez A, Ramírez J, Alòs L, Saco A, *et al.* Virtual microscopy in the undergraduate teaching of pathology. *J Pathol Inform.* 2015;29:1.

Oude Hengel KM, Houwink A, Odell D, van Dieën JH, Dennerlein JT. Smaller external notebook mice have different effects on posture and muscle activity. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2008;23(6):727-34.

Pantanowitz L, Sinard JH, Henricks WH, Fatheree LA, Carter AB, Contis L, *et al.* Validating whole slide imaging for diagnostic purposes in pathology: guideline from the College of American Pathologists Pathology and Laboratory Quality Center. *Arch Pathol Lab Med* 2013;137(12):1710-22.

Pantanowitz L, Valenstein PN, Evans AJ, Kaplan KJ, Pfeifer JD, Wilbur DC, *et al.* Review of the current state of whole slide imaging in pathology. *J Pathol Inform.* 2011;2:36.

Paul R, Lueder R, Selner A, Limaye J. Impact of new input technology on design of chair armrests: investigation on keyboard and mouse use, Key to the Future, Proceedings of the Human Factors 40th annual meeting, Oct, Philadelphia 1996:380-384.

Peces C, García-Rojo M, Sacristán J, Gallardo AJ, Rodríguez A. Serendipia: Castilla-La Mancha telepathology network. *Diagn Pathol.* 2008 15;3 Suppl 1:S5.

Peper E, Wilson VS, Gibney KH, Huber K, Harvey R, Shumay. The integration of electromyography (sEMG) at the Workstation: Assessment, treatment and prevention of repetitive strain injury (RSI). *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 2003;28:167-182.

Pereira CA, Bolliger Neto R, Reynaldo AC, Luzo MC, Oliveira RP. Development and evaluation of a head-controlled human-computer interface with mouse-like functions for physically disabled users. *Clinics (Sao Paulo).* 2009;64(10):975-81.

Pérez-Maldonado C, Wexler AS, Joshi SS. Two-dimensional cursor-to-target control from single muscle site sEMG signals. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2010;18:203-9.

Perotto A. *Anatomical Guide for the Electromyographer: The limbs and trunk.* Charles C Thomas, Springfield, IL. 1994.



Peterson F, Kendall E, Geise P, McIntyre M, Romani W. Kendall's Músculos Pruebas funcionales, Postura y Dolor. Madrid: Marbán; 2007.

Petrofsky J. The effect of the subcutaneous fat on the transfer of current through skin and into muscle Med. Eng. Phys. 2008;30:1168–76.

Punnett L, Bergqvist U. Visual display unit work and upper extremity musculoskeletal disorders. A review of epidemiological findings, National Institute for Working Life - ergonomic expert committee document no 1, Solna: National Institute for Working Life 1997.

Quemelo PR, Vieira ER. Biomechanics and performance when using a standard and a vertical computer mouse. Ergonomics. 2013;56(8):1336-44.

Radwin RG, Vanderheiden GC, Lin ML. A method for evaluating head-controlled computer input devices using Fitts' law. Hum Factors. 1990;32(4):423-38.

Radwin RG, Vanderheiden GC. A method for evaluating head-controlled computer input devices using fitts' law. Human Factors 1990;32(4):423-438.

Ramkumar A, Stappers PJ, Niessen WJ, Adebahr S, Schimek-Jasch T, Nestle U *et al.* Using GOMS and NASA-TLX to Evaluate Human–Computer Interaction Process in Interactive Segmentation, International Journal of Human–Computer Interaction 2017;33:2:123-134.

Reid GB, Potter SS, Berssler JR. Subjective workload assessment technique (SWAT): A user's guide. Technical report AAMRL-TR-89-023. Wright-Patterson Air force Base, OH: AF Armstrong Laboratory. 1989.

Rempel D, Serina E, Klineberg E, Martin BJ, Armstrong TJ, Foulke JA, *et al.* The effect of keyboard keyswitch make force on applied force and finger flexor muscle activity, Ergonomics 1997;40:800-808.

Ren P, Barreto A, Adjouadi M. Multi-step EMG classification algorithm for human-computer interaction. Innovations Comput Sci Software Eng. 2010:183-8.

Rezaeilouyeh H, Mollahosseini A, Mahoor MH. Microscopic medical image classification framework via deep learning and shearlet transform. J Med Imaging. 2016;3(4):044501.

Robertson MM, Huang YH, Larson N. The relationship among computer work, environmental design, and musculoskeletal and visual discomfort: examining the moderating role of supervisory relations and co-worker support. *Int Arch Occup Environ Health*. 2016;89(1):7-22.

Rodrigues JC, Morgan S, Augustine K, Clague G, Pearce T, Pollentine A, *et al*. Musculoskeletal symptoms amongst clinical radiologists and the implications of reporting environment ergonomics - a multicentre questionnaire study. *J Digit Imaging*. 2014;27(2):255-61.

Rodriguez-Urrego PA, Cronin AM, Al-Ahmadie HA, Gopalan A, Tickoo SK, Reuter VE, *et al*. Interobserver and intraobserver reproducibility in digital and routine microscopic assessment of prostate needle biopsies. *Hum Pathol*. 2011;42(1):68-74.

Rogers WA, Fisk AD, McLaughlin AC, Pak R. Touch a screen or turn a knob: Choosing the Best Device for the Job. *Human Factors* 2005;47:2.

Rubio S, Díaz E, Martín J. Aspectos metodológicos de la evaluación subjetiva de la carga mental de trabajo. *Archivos de prevención de riesgos laborales* 2001;4 (4):160-1.

Saco A, Bombi JA, Garcia A, Ramírez J, Ordi J. Current Status of Whole-Slide Imaging in education. *Pathobiology*. 2016;83(2-3):79-88.

Sánchez-Ferrer ML, Grima-Murcia MD, Sánchez-Ferrer F, Hernández-Peñalver AI, Fernández-Jover E, Sánchez Del Campo F. Use of Eye Tracking as an Innovative Instructional Method in Surgical Human Anatomy. *J Surg Educ*. 2017;74(4):668-673.

Sánchez-Margallo FM, Sánchez-Margallo JA, Moyano-Cuevas JL, Pérez EM3, Maestre J. Use of natural user interfaces for image navigation during laparoscopic surgery: initial experience. *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2017;26(5):253-261.

Schlossberg EB, Morrow S, Llosa AE, Mamary E, Dietrich P, Rempel DM. Upper extremity pain and computer use among engineering graduate students. *Am J Ind Med*. 2004;46(3):297-303.

Schmid AB, Kubler PA, Johnston V, Coppieters MW. A vertical mouse and ergonomic mouse pads alter wrist position but do not reduce carpal tunnel pressure in patients with carpal tunnel syndrome. *Appl Ergon*. 2015;47:151-6.



SENIAM. European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy. 1999 [online, consultado: diciembre 2017]. Disponible en: <http://www.seniam.org>.

Sharma H, Zerbe N, Klempert I, Hellwich O, Hufnagl P. Deep convolutional neural networks for automatic classification of gastric carcinoma using whole slide images in digital histopathology. *Comput Med Imaging Graph*. 2017;61:2-13.

Sherbondy AJ, Holmlund D, Rubin GD, Schraedley PK, Winograd T, Napel S. Alternative input devices for efficient navigation of large CT angiography data sets. *Radiology*. 2005;234(2):391-8.

Sherbondy AJ, Holmlund D, Rubin GD, Schraedley PK, Winograd T, Napel S. Alternative input devices for efficient navigation of large CT angiography data sets. *Radiology*. 2005;234(2):391-8.

Silverstein MA, Silverstein BA, Franklin GM. Evidence for work-related musculoskeletal disorders: a scientific counterargument. *J Occup Environ Med*. 1996;38(5):477-84.

Singh M, Pal TR. Voice recognition technology implementation in surgical pathology: advantages and limitations. *Arch Pathol Lab Med*. 2011;135(11):1476-81.

Singh V, Goyal N, Singh A, Bhatti SM, Deane A, Prakash JS. Upper limb musculoskeletal disorders associated with computer usage in health-care professionals. *Int J Med Sci Public Health*. 2005; 4(11): 1615-9.

Singh VP, Kumar DK, Polus B, Fraser S. Strategies to identify changes in SEMG due to muscle fatigue during cycling. *J Med Eng Technol*. 2007;31(2):144-51.

Sinha S, Bhowmick B, Chakravarty K, Sinha A, Das A. Accurate upper body rehabilitation system using kinect. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2016 Aug;2016:4605-4609.

Sivamalai S, Murthy SV, Gupta TS, Woolley T. Teaching pathology via online digital microscopy: Positive learning outcomes for rurally based medical students. *Aust. J. Rural Health*. 2011;19:45-51.

Söderberg I, Calissendorff B, Elofsson S, Knave B, Nyman KG. Investigation of visual strain experienced by microscope operators at an electronics plant. *Appl Ergon*. 1983;14(4):297-305.

Soukoreff RW, MacKenzie IS. Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of Fitts' law research in HCI. *Int J Human-Comput Stud.* 2004;6:751–789.

Stanton NA, Harvey C, Plant KL, Bolton L. To twist, roll, stroke or poke? A study of input devices for menu navigation in the cockpit. *Ergonomics.* 2013;56(4):590-611.

Stellmach S, Dachsel R. Investigating gaze-supported multimodal pan and zoom. *Proc Symp Eye Track Res Appl-ETRA '12* 2012:357-60.

Tang LH, Gonen M, Hedvat C, Modlin IM, Klimstra DS. Objective quantification of the Ki67 proliferative index in neuroendocrine tumors of the gastroenteropancreatic system: a comparison of digital image analysis with manual methods. *Am J Surg Pathol.* 2012;36(12):1761-70.

Têtu B, Evans A. Canadian licensure for the use of digital pathology for routine diagnoses: one more step toward a new era of pathology practice without borders. *Arch Pathol Lab Med.* 2014;138(3):302-4.

Thompson SK, Mason E, Dukes S. Ergonomics and cytotechnologists: reported musculoskeletal discomfort. *Diagn Cytopathol.* 2003;29(6):364-7.

Thorstenson S, Molin J, Lundström C. Implementation of large-scale routine diagnostics using whole slide imaging in Sweden: Digital pathology experiences 2006-2013. *J Pathol Inform.* 2014 28;5(1):14.

Tobin NP, Lundgren KL, Conway C, Anagnostaki L, Costello S, Landberg G. Automated image analysis of cyclin D1 protein expression in invasive lobular breast carcinoma provides independent prognostic information. *Hum Pathol.* 2012;43(11):2053-61.

Tsang PS, Vidulich MA. The roles of immediacy and redundancy in relative subjective workload assessment. *Human Factors* 1994;36:503-513.

UNE-EN ISO. Ergonomics of human-system interaction - Part 400: Principles and requirements for physical input devices (ISO 9241-400:2007).



Villar MF. Riesgos de trastornos musculoesqueléticos en la población laboral española. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Madrid, 2014.

Wang D, Shi LQ, Wang JM, Jiang XH, Ji ZL. Comparison of different sets of instruments for laparoendoscopic single-site surgery in a surgical simulator with novices. *ANZ J Surg.* 2013;86(4):264-9.

Wang Y, Williamson KE, Kelly PJ, James JA, Hamilton PW. SurfaceSlide: a multitouch digital pathology platform. *PLoS One.* 2012;7(1):e30783.

Weinstein RS, Graham AR, Richter LC, Barker GP, Krupinski EA, Lopez AM, *et al.* Overview of telepathology, virtual microscopy, and whole slide imaging: prospects for the future. *Hum Pathol.* 2009;40(8):1057-69.

Weiss ND, Gordon L, Bloom T, So Y, Rempel DM. Position of the wrist associated with the lowest carpal tunnel pressure: implications for splint design, *Journal of Bone and Joint Surgery* 1995;77-A:1695-1699.

Weiss P, Stelmach GE, Adler CH, Waterman C. Parkinsonian arm movements as altered by task difficulty. *Parkinsonism Relat Disord.* 1996;2(4):215-23.

Welford AT. Mental Workload as a function of demand, capacity, strategy and skill. *Ergonomics* 1986;21:151-176.

Werner R, Armstrong TJ, Bir C, Aylard MK. Intracarpal canal pressures: the role of finger, hand, wrist, and forearm position, *Clinical Biomechanics* 1997;12:44-51.

Wickens CD. Processing resources in attention. En R. Parasuraman & R. Davies (Eds.), *Varieties of attention.* 1984:63–101.

Wierwille WW, Eggemeier FT. Recommendations for mental workload measurements in a test and evaluation environment. *Human Factors* 1993;35(2):263-281.

Wierwille WW, Rahimi M, Casali JG. Evaluation of 16 measures of mental workload using a simulated flight task emphasizing mediational activity. *Human Factors* 1985;27:489-502.

Williams MR, Kirsch RF. Evaluation of head orientation and neck muscle EMG signals as three-dimensional command sources. *J Neuroeng Rehabil.* 2015 5;12:25.

Winkel J, Jørgensen K. Significance of skin temperature changes in surface electromyography. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1991;63(5):345-8.

Wright AM, Smith D, Dhurandhar B, Fairley T, Scheiber-Pacht M, Chakraborty S, *et al.* Digital slide imaging in cervicovaginal cytology: a pilot study. *Arch Pathol Lab Med.* 2013;137(5):618-24.

Xu X, Zheng Y, Yao S, Sun G, Xu B, Chen X. A low-cost multimodal head-mounted display system for neuroendoscopic surgery. *Brain Behav.* 2017 14;8(1):e00891.

Yagi Y, Yoshioka S, Kyusojin H, Onozato M, Mizutani Y, Osato K, *et al.* An ultra-high speed Whole Slide Image viewing system. *Stud Health Technol Inform.* 2012;179:239-49.

Yeh Y, Wickens CD. Dissociation of performance and subjective measures of workload. *Human Factors* 1988;30:111-120.

York JL, Biederman I. Motor performance in detoxified alcoholics. *Alcohol Clin Exp Res.* 1988;12(1):119-24.

Yurko YY, Scerbo MW, Prabhu AS, Acker CE, Stefanidis D. Higher mental workload is associated with poorer laparoscopic performance as measured by the NASA-TLX tool. *Simul Healthc.* 2010;5(5):267-71.

Yurko YY, Scerbo MW, Prabhu AS, Acker CE, Stefanidis D. Higher mental workload is associated with poorer laparoscopic performance as measured by the NASA-TLX tool. *Simul Healthc* 2010;5:267-71.

Zapata AL, Moraes AJ, Leone C, Doria-Filho U, Silva CA. Pain and musculoskeletal pain syndromes related to computer and video game use in adolescents. *Eur J Pediatr.* 2006;165(6):408-14.

Zhong F, Bi R, Yu B, Yang F, Yang W, Shui R. A Comparison of Visual Assessment and Automated Digital Image Analysis of Ki67 Labeling Index in Breast Cancer. *PLoS One.* 2016 29;11(2):e0150505.



Tesis Doctoral. Manejo de la imagen digital en Anatomía Patológica.
Análisis comparativo de dispositivos de entrada.

ANEXOS

ANEXO 1

INFORMACIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE LA ELECTROMIOGRAFÍA DE SUPERFICIE

La electromiografía de superficie (EMGs) es una prueba realizada bajo supervisión médica que sirve para estudiar la actividad muscular a partir del estímulo eléctrico transmitido por los nervios.

Para ello se colocarán sobre la piel, mediante unas pegatinas, unos sensores para recoger la actividad eléctrica muscular. Estos sensores se colocan en sitios específicos del cuerpo. Para realizarla no es necesario utilizar ningún tipo de aguja, no se inyecta ninguna sustancia ni se aplica corriente eléctrica.

Para la realización de esta prueba es necesario que acuda con el cuerpo limpio y sin haberse aplicado cremas hidratantes ni productos cosméticos. No es necesario que venga en ayunas; puede desayunar o comer normalmente.

Se le pedirá que realice determinadas ejercicios para ver la actividad muscular en cada uno de ellos. Durante la sesión se le darán las indicaciones para la realización de los ejercicios.

La sesión durará aproximadamente 30 minutos y no se produce fatiga.

En caso de presentar alergias medicamentosas, alteraciones de la coagulación, enfermedades cardiopulmonares, debe ponerlo en conocimiento del personal que va a realizar la prueba, aunque no suponen contraindicación. Así mismo, debe comunicar si porta prótesis o marcapasos y facilitar información sobre su medicación habitual o cualquier otra circunstancia que afecte a su estado de salud.

No se produce ninguna consecuencia importante predecible. Solamente existe un mínimo riesgo de irritación y enrojecimiento debido al adhesivo que llevan los sensores y esporádicamente aparece en pieles especialmente sensibles resolviéndose espontáneamente en pocos minutos. No se produce ningún dolor ni molestia y no existe riesgo alguno de contagios, ni de electrocución.



CONSENTIMIENTO

Yo, _____, con DNI
_____, doy mi consentimiento para que me sea realizada una
ELECTROMIOGRAFÍA DE SUPERFICIE de la musculatura de la extremidad superior
realizando unos ejercicios específicos.

Se me ha facilitado esta hoja informativa, habiendo comprendido el significado del procedimiento y los riesgos inherentes al mismo, y declaro estar debidamente informado/a habiendo tenido oportunidad de aclarar mis dudas en entrevista personal con el Grupo de Investigación Ejercicio Físico y Rendimiento Deportivo de la Universidad de Murcia. También he recibido respuesta a todas mis preguntas, habiendo tomado la decisión de manera libre y voluntaria.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Murcia para utilizar los datos obtenidos en las exploraciones, incluyendo imágenes fotográficas y documentos audiovisuales, en cuantas actividades docentes e investigadoras se considere de interés, respetando la confidencialidad de los mismos y el anonimato en las publicaciones, tal y como exige la Ley Orgánica 15/1999 de 13 de diciembre de Protección de Datos de Carácter Personal, (LOPD).

Murcia, _____ de _____ de _____

Por el grupo de Investigación

Firma: _____

Firma:

ANEXO 2

Nombre:

Sexo: hombre/mujer

Edad:

| DIMENSION | EXTREMOS | DESCRIPCION |
|--------------------|------------|---|
| EXIGENCIA MENTAL | BAJA/ALTA | Cuánta actividad mental fue necesaria? (pensar, decidir, calcular...) Es una tarea fácil/difícil, simple/compleja |
| EXIGENCIA FISICA | BAJA/ALTA | Cuánta actividad física fue necesaria? (pulsar, mover, accionar...) Es una tarea fácil/difícil, relajada/cansada |
| EXIGENCIA TEMPORAL | BAJA/ALTA | Cuánta presión de tiempo sintió? |
| ESFUERZO | BAJO/ALTO | En qué medida ha tenido que trabajar para alcanzar resultados? |
| RENDIMIENTO | BUENO/MALO | Exito en los objetivos establecidos. Grado de satisfacción con el nivel de ejecución |
| NIVEL FRUSTRACION | BAJO/ALTO | En qué medida se ha sentido tenso, preocupado, inseguro o irritado, o al contrario (seguro, relajado..) |

Elija, previo a la ejecución, la dimensión que le parezca tenga más peso de cada pareja:

| | | |
|-----------------------|-------------------------|----------------------------|
| Mental vs Física | Física vs Temporal | Temporal vs Esfuerzo |
| Mental vs Temporal | Física vs Rendimiento | Temporal vs Frustración |
| Mental vs Esfuerzo | Física vs Esfuerzo | Rendimiento vs Esfuerzo |
| Mental vs Rendimiento | Física vs Frustración | Rendimiento vs Frustración |
| Mental vs Frustración | Temporal vs Rendimiento | Esfuerzo vs Frustración |

Tras el ejercicio con cada uno de los 3 sistemas de reconocimiento facial, puntúe cada dimensión (0-100):

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|------------------|--------------------|----------|-------------|-------------------|--|------------------|------------------|--------------------|----------|-------------|-------------------|---|------------------|------------------|--------------------|----------|-------------|-------------------|
| <table border="1"> <tr><td>EXIGENCIA MENTAL</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA FISICA</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA TEMPORAL</td></tr> <tr><td>ESFUERZO</td></tr> <tr><td>RENDIMIENTO</td></tr> <tr><td>NIVEL FRUSTRACION</td></tr> </table> <p>Ratón convencional</p> | EXIGENCIA MENTAL | EXIGENCIA FISICA | EXIGENCIA TEMPORAL | ESFUERZO | RENDIMIENTO | NIVEL FRUSTRACION | <table border="1"> <tr><td>EXIGENCIA MENTAL</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA FISICA</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA TEMPORAL</td></tr> <tr><td>ESFUERZO</td></tr> <tr><td>RENDIMIENTO</td></tr> <tr><td>NIVEL FRUSTRACION</td></tr> </table> <p>Trackball rojo</p> | EXIGENCIA MENTAL | EXIGENCIA FISICA | EXIGENCIA TEMPORAL | ESFUERZO | RENDIMIENTO | NIVEL FRUSTRACION | <table border="1"> <tr><td>EXIGENCIA MENTAL</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA FISICA</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA TEMPORAL</td></tr> <tr><td>ESFUERZO</td></tr> <tr><td>RENDIMIENTO</td></tr> <tr><td>NIVEL FRUSTRACION</td></tr> </table> <p>Lápiz óptico</p> | EXIGENCIA MENTAL | EXIGENCIA FISICA | EXIGENCIA TEMPORAL | ESFUERZO | RENDIMIENTO | NIVEL FRUSTRACION |
| EXIGENCIA MENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA FISICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA TEMPORAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESFUERZO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RENDIMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NIVEL FRUSTRACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA MENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA FISICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA TEMPORAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESFUERZO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RENDIMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NIVEL FRUSTRACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA MENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA FISICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA TEMPORAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESFUERZO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RENDIMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NIVEL FRUSTRACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr><td>EXIGENCIA MENTAL</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA FISICA</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA TEMPORAL</td></tr> <tr><td>ESFUERZO</td></tr> <tr><td>RENDIMIENTO</td></tr> <tr><td>NIVEL FRUSTRACION</td></tr> </table> <p>Ratón vertical</p> | EXIGENCIA MENTAL | EXIGENCIA FISICA | EXIGENCIA TEMPORAL | ESFUERZO | RENDIMIENTO | NIVEL FRUSTRACION | <table border="1"> <tr><td>EXIGENCIA MENTAL</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA FISICA</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA TEMPORAL</td></tr> <tr><td>ESFUERZO</td></tr> <tr><td>RENDIMIENTO</td></tr> <tr><td>NIVEL FRUSTRACION</td></tr> </table> <p>Trackball negro</p> | EXIGENCIA MENTAL | EXIGENCIA FISICA | EXIGENCIA TEMPORAL | ESFUERZO | RENDIMIENTO | NIVEL FRUSTRACION | <table border="1"> <tr><td>EXIGENCIA MENTAL</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA FISICA</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA TEMPORAL</td></tr> <tr><td>ESFUERZO</td></tr> <tr><td>RENDIMIENTO</td></tr> <tr><td>NIVEL FRUSTRACION</td></tr> </table> <p>Leap Motion</p> | EXIGENCIA MENTAL | EXIGENCIA FISICA | EXIGENCIA TEMPORAL | ESFUERZO | RENDIMIENTO | NIVEL FRUSTRACION |
| EXIGENCIA MENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA FISICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA TEMPORAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESFUERZO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RENDIMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NIVEL FRUSTRACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA MENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA FISICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA TEMPORAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESFUERZO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RENDIMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NIVEL FRUSTRACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA MENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA FISICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA TEMPORAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESFUERZO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RENDIMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NIVEL FRUSTRACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr><td>EXIGENCIA MENTAL</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA FISICA</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA TEMPORAL</td></tr> <tr><td>ESFUERZO</td></tr> <tr><td>RENDIMIENTO</td></tr> <tr><td>NIVEL FRUSTRACION</td></tr> </table> <p>Rollemouse</p> | EXIGENCIA MENTAL | EXIGENCIA FISICA | EXIGENCIA TEMPORAL | ESFUERZO | RENDIMIENTO | NIVEL FRUSTRACION | <table border="1"> <tr><td>EXIGENCIA MENTAL</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA FISICA</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA TEMPORAL</td></tr> <tr><td>ESFUERZO</td></tr> <tr><td>RENDIMIENTO</td></tr> <tr><td>NIVEL FRUSTRACION</td></tr> </table> <p>Ergopointer</p> | EXIGENCIA MENTAL | EXIGENCIA FISICA | EXIGENCIA TEMPORAL | ESFUERZO | RENDIMIENTO | NIVEL FRUSTRACION | | | | | | | |
| EXIGENCIA MENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA FISICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA TEMPORAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESFUERZO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RENDIMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NIVEL FRUSTRACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA MENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA FISICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA TEMPORAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESFUERZO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RENDIMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NIVEL FRUSTRACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr><td>EXIGENCIA MENTAL</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA FISICA</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA TEMPORAL</td></tr> <tr><td>ESFUERZO</td></tr> <tr><td>RENDIMIENTO</td></tr> <tr><td>NIVEL FRUSTRACION</td></tr> </table> <p>Trackball azul</p> | EXIGENCIA MENTAL | EXIGENCIA FISICA | EXIGENCIA TEMPORAL | ESFUERZO | RENDIMIENTO | NIVEL FRUSTRACION | <table border="1"> <tr><td>EXIGENCIA MENTAL</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA FISICA</td></tr> <tr><td>EXIGENCIA TEMPORAL</td></tr> <tr><td>ESFUERZO</td></tr> <tr><td>RENDIMIENTO</td></tr> <tr><td>NIVEL FRUSTRACION</td></tr> </table> <p>Touchpad</p> | EXIGENCIA MENTAL | EXIGENCIA FISICA | EXIGENCIA TEMPORAL | ESFUERZO | RENDIMIENTO | NIVEL FRUSTRACION | | | | | | | |
| EXIGENCIA MENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA FISICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA TEMPORAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESFUERZO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RENDIMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NIVEL FRUSTRACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA MENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA FISICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXIGENCIA TEMPORAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESFUERZO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RENDIMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NIVEL FRUSTRACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



ANEXO 3

| | Ratón convenc. | Ratón vertical | Trackball azul | Trackball negro | Touchpad | Rollermouse | Trackball rojo | Ergopointer | Lápiz | Leap Motion |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|----------------|-------------|-----------|-------------|
| Edad: | 1 2 3 4 5 | | | | | | | | | |
| Sexo: Masc / Fem | 1 2 3 4 5 | | | | | | | | | |
| Mano dominante: Der / Izq | 1 2 3 4 5 | | | | | | | | | |
| 1 - Diseño | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 |
| 2 - Movimiento del cursor | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 |
| 3 - Comodidad (agarre) | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 |
| 4 - Comodidad postural | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 |
| 5 - Disposición de botones | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 |
| 6 - Tiempo de adaptación | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 |
| 7 - Consecución objetivos | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 |
| 8 - Versatilidad (dedos/mano) | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 |
| 9 - Perspectiva (fatiga) | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 |
| 10 - Satisfacción general | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 |

1. (Malo) 2. (Regular) 3. (Normal) 4. (Bueno) 5. (Excelente)

Edad:

Sexo: Masc / Fem

Mano dominante: Der / Izq