

# Diseño de herramientas precisas usadas con las manos:

SEGUIMIENTO OCULAR Y OTRAS TÉCNICAS DE USABILIDAD<sup>1</sup>

DESIGNING PRECISION HAND TOOLS USED BY HANDS:  
 eye tracking and other techniques of usability

DESIGN DE FERRAMENTAS DO PRECISÃO:  
 controle ocular e outras técnicas da usabilidade

**Recibido:** 2 de febrero de 2017

**Aprobado:** 7 de julio de 2017

<https://doi.org/10.15446/bitacora.v27n4Esp.62423>

**David Ernesto Puentes-Lagos**

Magister en Salud y Seguridad en el Trabajo  
 Universidad Nacional de Colombia  
 depuentesl@unal.edu.co

**Hernán Ricardo Mojica**

Especialista en Diseño y Desarrollo de Producto  
 Universidad Nacional de Colombia  
 hrmojica@unal.edu.co

**María Alejandra Arango-Vásquez**

Diseñadora Industrial  
 Universidad Nacional de Colombia  
 maaarangov@unal.edu.co

## Resumen

Este artículo presenta las conclusiones de una investigación cuyo objetivo fue caracterizar atributos de diseño que permitan a creativos y otras partes interesadas desarrollar asertivamente un dispositivo de precisión usado con las manos. Para ello, se tuvieron en cuenta las técnicas de la usabilidad como los test y el seguimiento ocular, y se puo en práctica en un ejercicio con cuarenta usuarios que probaron cinco dispositivos representativos de las herramientas de precisión operadas con las manos: destornillador, esfero, llave, pincel y dosificador, por medio de la ejecución de tres procesos: reconocer el objeto, hacer una tarea real y otras controladas. Se concluyó que las personas muestran una curva de aprendizaje a medida que repiten la tarea solicitada, y que la configuración y la morfología de los sólidos para el agarre de los objetos precisos, influye en el desempeño de las mismas. Las herramientas con morfologías complejas presentaron mayor cantidad de visualizaciones, mientras que el diseño adecuado del sistema de control o mango de las herramientas de precisión requiere de superficies fáciles de identificar y que se parezcan a herramientas similares de la vida cotidiana.

**Palabras clave:** usabilidad, ergonomía, diseño centrado en el usuario, herramientas manuales, seguimiento ocular.

## Abstract:

This article presents the conclusions of an investigation whose objective was to characterize design attributes that allow creative and other interested parties to assertively develop a precision device used with the hands. In order to do this, usability techniques such as eye tests and traditional testing were taken into account, and were implemented in an exercise with forty users who tested five devices representative of precision hand-operated tools: screwdriver, pen, key, brush and dispenser, by means of the execution of three processes: recognizing the object, doing a real task and controlled ones. It was concluded that people show a learning curve as they repeat the task requested, and that the configuration and morphology of the solids for the grip of the precise objects influences the performance of the same. Tools with complex morphologies showed more visualizations, while the proper design of the control system or handle of precision tools requires surfaces that are easy to identify and that resemble similar tools of everyday life.

**Keywords:** usability, ergonomics, user center design, hand tools, eye-tracking.

## Resumo

Este artigo apresenta as conclusões de uma pesquisa cujo objetivo foi caracterizar os atributos de desenho que permitam a criativos e outras partes interessadas desenvolverem assertivamente um dispositivo de precisão usado com as mãos. Para isso, levaram em consideração as técnicas de usabilidade como os testes e o seguimento ocular, e colocaram em prática em um exercício com quarenta usuários que experimentaram cinco dispositivos representativos das ferramentas de precisão operadas manualmente: chave de fenda, canaleta, chave, pincel e doseador, por meio da execução de três processos: reconhecimento do objeto, prática de um exercício real e prática de exercícios controlados. Concluiu-se que as pessoas mostram uma curva de aprendizagem à medida que repetem as actividades solicitadas e a configuração. Em outro parte da morfologia dos sólidos para fixação dos objetos precisos, influencia no desempenho das mesmas. As ferramentas com morfologia complexa apresentaram maior quantidade de visualizações, enquanto que o desenho adequado do sistema de controle o de uso manual das ferramentas de precisão requer superfícies fáceis de identificar e que pareçam as ferramentas semelhantes as da vida cotidiana.

**Palavras-chave:** usabilidade, ergonomia, design centrado no usuário, ferramentas de mão, seguimento do olhar.

<sup>1</sup> Investigación realizada por el Grupo de Investigación MIMA-PRO, adscrito al Laboratorio de Ergonomía y Factores Humanos de la Escuela de Diseño Industrial de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Este proyecto fue financiado por la Facultad de Artes de la misma institución.

## 1. Introducción

Para diseñar herramientas manuales y particularmente de precisión se debe comprender que la mano es una parte del cuerpo humano poderosa y precisa, y gracias a sus huesos pequeños, músculos y tendones se genera una combinación enorme de posibilidades para el diseño de herramientas. Hay que señalar que la mano y las herramientas no determinan por sí mismas la eficiencia o la efectividad en el logro de una acción puntual, son las actividades, y las tareas de precisión y exactitud que realiza la mano como apuntar, atinar, posicionar, presionar, mover, mantener, seleccionar, arrastrar, entre otras.

En investigaciones relacionadas con la biomecánica existe información sobre el diseño de herramientas. Por ejemplo, Mital, Subramanian y Pennathur (2007) exploran la anatomía de la mano, los tipos de agarre y sus posturas, la fuerza de los agarres, y el tiempo de uso de las herramientas a partir de estadísticas y datos sobre las enfermedades, y los accidentes con herramientas manuales.

Otros estudios menos relacionados con la biomecánica, pero muy vinculados con la indagación experimental sobre la forma y la topología de las herramientas, muestran que en el diseño centrado en el usuario existió históricamente un esfuerzo por hacer que las herramientas siguieran la morfología de la mano y, por lo tanto, que tuviesen la huella de los dedos y las zonas de la palma (Harih y Dolšak, 2013). Este aspecto está siendo superado por estudios como el que se adelantó y se describe en este documento, en donde la simplicidad favorece la comprensión y la versatilidad de las herramientas manuales.

Los resultados que se presentan a continuación están enmarcados en la investigación *Guía de recomendaciones de diseño de objetos de precisión*, la cual tuvo una duración de tres años, y cuya finalidad fue desarrollar conocimientos para el diseño de herramientas y objetos de precisión, involucrando aspectos de la usabilidad.

Para ello, la investigación realizó una prueba de usabilidad con cuarenta usuarios, la mitad hombres y la mitad mujeres, para valorar el uso de los cuatro objetos más representativos de las reivindicaciones en las patentes de objetos de precisión: esfero, pincel, llaves y destornillador.

El equipo de investigación decidió incluir un quinto objeto: un dosificador de fluidos (Mojica, 2015). Este artefacto, que está en proceso de obtención de una patente de invención, se diseñó y desarrolló en una etapa temprana del proyecto de investigación, y se incluyó para identificar si su morfología y topología cumplían con dos principios: era fácil de aprender a usar y se cometían pocos errores en su uso. Estos dos principios que propende el diseño centrado en el usuario (DCU) representan, en esencia, la ideología del proyecto de investigación. La morfología de este dosificador es atípica y novedosa en el campo de las herramientas manuales, y es resultado del conocimiento adquirido por el grupo de investigación MIMA-PRO durante el desarrollo del proyecto, en donde se diseñó previamente un posicionador de brackets que ya cuenta con la patente (García Acosta, et al., 2015).

### David Ernesto Puentes-Lagos

Diseñador Industrial, Especialista en Ingeniería, Magister en Salud y Seguridad en el Trabajo. Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

### Hernán Ricardo Mojica

Diseñador Industrial, Especialista en Diseño y Desarrollo de Producto.

### María Alejandra Arango-Vásquez

Diseñadora Industrial, estudiante de la Maestría en Museología y Gestión del Patrimonio de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Los investigadores son conscientes de que los objetos que se usaron para las pruebas de usabilidad pertenecen a diferentes categorías: mientras que el esfero y el pincel son herramientas donde predomina la precisión, las llaves y el destornillador tienen requerimientos de fuerza, situación que afecta los resultados. Para la claridad del lector, el caso del dosificador se incluyó por la necesidad que tenía el grupo de investigación de validar los resultados adelantados durante el proceso de creación y experimentación, y su posterior protección por medio de la obtención de una patente.

Decidimos probar, entre otros, la curva de aprendizaje que tienen las personas en su interacción con objetos que han trascendido las generaciones y se han decantado hasta nuestros días en un proceso de construcción social de la tecnología. Identificar cuáles objetos se aprenden a usar más rápido en los tres momentos que se evidenciarán más adelante en la metodología y con cuáles se cometen más o menos errores contribuye a la profesión, y al diseño de las herramientas manuales del futuro. También, ayuda a construir un corpus de conocimientos disciplinares para el diseño industrial.

Antes de revisar los conceptos del marco conceptual, se consideró como un aspecto muy importante probar con usuarios los objetos existentes y masificados en la tecnología cotidiana. Los cuatro primeros objetos seleccionados para hacer las pruebas de usabilidad de este proyecto pueden representar principios antropológicos y tecnológicos, de atributos que contribuyen a la disminución de errores y al aprendizaje rápido del uso de objetos de precisión usados con las manos. Estructurar ese conocimiento fue parte del propósito tácito de esta investigación (Puentes-Lagos, 2016).

## 2. Diseño centrado en el usuario (DCU), usabilidad y seguimiento ocular

El uso tiene gran relevancia en el campo del diseño. Es muy importante en la evolución de las tecnologías más complejas y ha contribuido en la generación de un constructo o cuerpo de conocimientos bastante robusto. Se podría afirmar que el uso, el usuario y todas las variaciones de la palabra, como usabilidad, tienen su origen en la cantera disciplinar y profesional del diseño (Cho, et al., 2011).

En el diseño centrado en el usuario (DCU) la usabilidad se podría considerar como un subcampo importante para reducir la incertidumbre del proceso creativo. Hacer un protocolo de comprobación, es decir, un proceso sistemático de validación de hipótesis para valorar y comparar propuestas de diseño entre sí ha mejorado la confiabilidad en el proceso de diseño y ha disminuido los tiempos de este, así como el desarrollo de productos y servicios (*time to market*) (Selway, et al., 2015).

### 2.1 Las pruebas de usabilidad

Según el glosario de la norma ISO 9241, la usabilidad se puede comprender como la capacidad de los sistemas, productos o servicios para lograr tareas específicas con eficiencia, eficacia y satisfacción en un contexto determinado. En ese documento también se afirma que la experiencia de usuario es el resultado de la interacción de las personas con estos sistemas, productos o servicios, e incluye emociones y percepciones tanto individuales como colectivas sobre aspectos importantes del diseño como la marca, la imagen, la estética y otros aspectos disciplinares. El propósito de la usabilidad es hacer que cualquier usuario, aunque no tenga conocimientos previos sobre un producto-servicio, sea capaz de usarlo de forma intuitiva, aprovechando toda su funcionalidad y evitando cometer errores.

Para determinar la usabilidad de un producto o servicio, y cómo es la calidad de la comprensión cognitiva y experimental de la interacción del usuario con ellos se recurre a las encuestas y a la grabación de videos. A partir de las respuestas obtenidas en el primer caso se infieren los atributos que lo hacen más usable (Kuijt-Evers, et al., 2004), mientras que con base en las grabaciones se analizan las características de desempeño y los errores cometidos por el usuario durante la ejecución de actividades y tareas, teniendo en cuenta unas variables preestablecidas (Richardson, et al., 2017).

El campo inicial de aplicación de la usabilidad fueron las pantallas y las aplicaciones digitales en donde el diseño gráfico ha jugado un papel preponderante. Sin embargo, otros campos y familias de productos menos digitales comienzan a ser valorados en la actualidad a partir de los grandes criterios que desarrolla la usabilidad, como el diseño arquitectónico y el industrial para diseñar objetos y ambientes como el de una biblioteca o un escritorio (Johnson, Ochoa y Purpur, 2007). Alcanzar el estatus de norma técnica, como el caso de la norma ISO 9241, ha contribuido a que algunos productos-servicios cumplan ciertos aspectos mínimos relacionados con la experiencia del usuario para garantizar su permanencia e impacto en el mercado (van Kuijk, van Driel y van Eijk, 2015).

La usabilidad tiene un gran número de aplicaciones. Se destacan temas como los estudios en productos, objetos, procesos de diseño, y particularmente el análisis y evaluación de páginas web e interfaces en sistemas computarizados. En este sentido, la valoración de aplicaciones, dispositivos, maquinaria, servicios y ambientes son los más explorados y estudiados.

### 2.2 La usabilidad y el seguimiento ocular

En la usabilidad, el seguimiento ocular es una técnica que captura y graba el lugar exacto al cual una persona dirige su mirada, lo que permite verificar la atención visual del usuario. Esta metodología se usa como herramienta de evaluación de la usabilidad por la relación directa entre lo que una persona observa y su actividad cognitiva (Bergstrom y Schall, 2014).

Generalmente se asume que cuando un participante de una prueba mira a determinado punto es porque ese punto le genera más interés, pero en realidad esto puede ser un factor aleatorio y llevar a errores en la interpretación de las imágenes u objetos. Para evitar ese tipo de errores en un proyecto de investigación sobre temas de usabilidad se deben definir desde un comienzo los aspectos a valorar, por ejemplo, número de fijaciones totales, fijaciones por área de interés, duración de las fijaciones, grupos de fijaciones, densidad espacial de las fijaciones, tiempo de la primera fijación, entre otros, lo que permitirá hacer una aproximación analítica basada en parámetros establecidos previamente y no solo en la observación. Además, se recomienda permitirles a los participantes pensar en voz alta para complementar la información obtenida.

El seguimiento ocular se divide en dos grandes categorías: interacción y diagnóstico. Los estudios en el tema han demostrado que una persona mira un objeto antes de señalarlo, por lo tanto, el seguimiento ocular se puede utilizar como una herramienta de interacción en donde la interfaz, en el caso de sistemas computarizados o aplicaciones, reaccionará con la mirada de la persona. El diagnóstico, por otro lado, graba los movimientos oculares de una persona, los cuales pueden ser vistos, analizados o exportados (de Bruin, 2014).

Hay dos mecanismos para analizar los datos de seguimiento ocular: uno basado en la teoría cognitiva (Rayner, 1995), que propone una aproximación a la resolución de tareas de tipo sistemático y otro desde la hipótesis de diseño (de Bruin, 2014), la cual se basa en la observación de los datos sin predefinir teorías relacionadas con el seguimiento ocular en la actividad cognitiva. Con este se puede medir el número de fijaciones y su duración, las áreas de interés, el porcentaje del área de interés, entre otros. Al analizar los datos obtenidos con técnicas de seguimiento ocular es común hacer uso de herramientas como mapas de calor, trayectorias de exploración, áreas de interés, para mencionar sólo algunos factores que pueden ser examinados. Las imágenes de la Ilustración 1 son un ejemplo de mapa de calor en donde se ubican las fijaciones de un hombre y de una mujer en el caso de la visualización durante un minuto de una representación tridimensional de un destornillador en la pantalla.

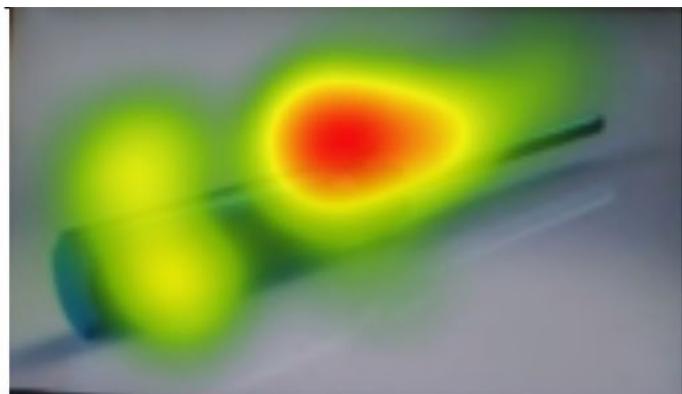
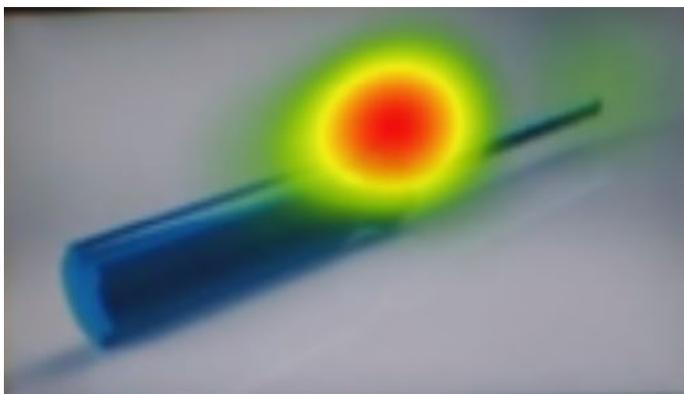
Algunos de los campos en donde se utiliza la metodología de seguimiento ocular son: 1) en los videojuegos, para valorar la lectura de los paneles de información de los juegos de rol como Counter Strike. 2) En el caso de los deportistas de alto rendimiento, para conocer, por ejemplo, qué mira un futbolista cuando interactúa con el balón y con su oponente. 3) En marketing, para comprender qué partes de las estanterías de un supermercado o almacén observan primero los consumidores. También se utiliza para evaluar catálogos de productos en línea y páginas de venta de productos con el mismo fin: saber en cuál parte de la página se deben promocionar ciertos productos. 4) En salud y psicología en pacientes con autismo o esquizofrenia, para saber qué miran estas personas en determinado contexto. 5) En el desarrollo de productos, para evaluar su usabilidad en físico o en alguna representación, como un render o boceto.

### 3. Metodología

La estructura metodológica de la prueba o test de usabilidad que se adelantó tuvo como objetivo valorar el desempeño del usuario en las actividades y tareas, para revisar la exactitud y precisión de algunos componentes, así como la relación de uso con la mano.

Las habilidades de precisión analizadas fueron: apuntar, atinar, posicionar, presionar, mover, mantener, seleccionar y arrastrar.

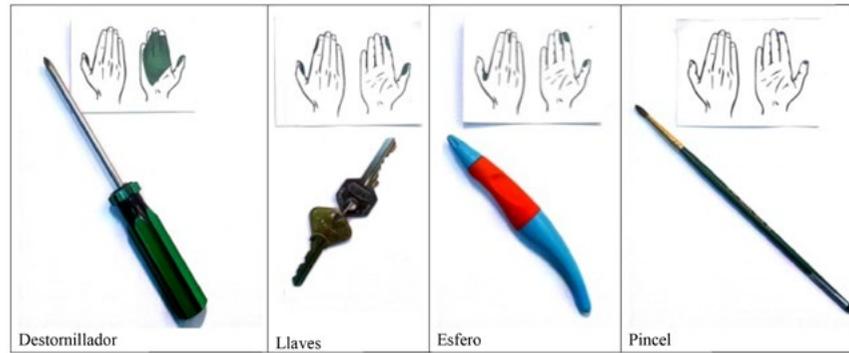
Existe una relación directa entre las habilidades de precisión analizadas y la selección de los objetos de precisión que fueron probados. 1) En estos objetos se han decantado aspectos de tipo antropológico y tecnológico de las tareas de precisión relacionadas con las actividades y tareas como apuntar, atinar, posicionar, mover y mantener. 2) Representan actividades cotidianas para la precisión de la acción manual y casi todas las personas tienen una aproximación similar a estas tecnologías: el destornillador, el esfero ganador del Plus x Award 2015, la llave y el pincel. 3) La selección obedece a la facilidad para el modelado en 3D y la simulación tridimensional.



Hombre # 32

Mujer # 33

Ilustración 1. Dos resultados representativos de las imágenes obtenidas con el software Tobbi Studio



**Ilustración 2.** Instrumentos de precisión analizados

En la Ilustración 2 se observan los objetos que fueron incluidos en la prueba. Por motivos de protección intelectual, no se incluye el dosificador de fluidos que se está desarrollando.

El estudio se dividió en tres fases: reclutamiento de usuarios, realización de las pruebas de usabilidad, y análisis de la información con base en gráficos de los resultados. La segunda fase se dividió en tres momentos diferentes, cada uno con una duración aproximada de 15 minutos: 1) observación de imágenes de los dispositivos y los objetos reales para reconocerlos, 2) ejecución de tareas reales como abrir una cerradura con una llave y 3) realización de tres tareas controladas. En este último momento los usuarios registraron su habilidad para apuntar, atinar, cambiar de dirección y seguir una trayectoria con replicas impresas en 3D de los objetos reales, registrando la información en hojas de papel impresas.

Se reclutó durante un mes a cuarenta participantes entre los 18 y 25 años, excluyendo a estudiantes de diseño. Veintiuno de los cuarenta reclutados fueron hombres. Del total de las personas, 15% eran zurdos y el 85% restante diestro, cumpliendo algunas distribuciones de la población a reclutar en un estudio de usabilidad (Wiklund, Kendler y Yale, 2011). El tamaño de la muestra se limitó de acuerdo con los parámetros estipulados por el Departamento de Salud y de Servicios Humanos de Estados Unidos (U.S. Department of Health & Human Services, 2014). A cada participante se le hizo una breve introducción para darle a conocer el objetivo de la investigación y la importancia de su participación. Se entregó un consentimiento informado de grabación y participación en la prueba, que cada usuario leyó y firmó. También se les dio un reconocimiento en forma de refrigerio por su participación. Durante la prueba se procedió a colocar y calibrar el sistema de Eye Tracker Glasses para cada participante, advirtiéndole todas las recomendaciones para un registro exitoso de la prueba. Además, se contó con tres facilitadores que tenían un rol particular en el desarrollo de la prueba (Wiklund, Kendler y Yale, 2011).

Las pruebas se realizaron en instalaciones del Laboratorio de Ergonomía y Factores Humanos, y en el Laboratorio de Neurociencia de la Universidad Nacional de Colombia, y se hizo uso de equipos como el Eye Tracker Glasses, las cámaras de video y los trípodes, los cinco instrumentos reales de precisión seleccionados (destornillador, esfero, pincel, llave y dosificador) y cinco modelos de los objetos seleccionados impresos en 3D en PLA

(ácido poliláctico) de color azul. De otro lado, el equipo diseñó y desarrolló formatos para recolectar la información del proyecto y simular las tareas con los instrumentos impresos en 3D.

Para evitar los sesgos, una sola persona se encargó de analizar toda la información y hacer las conclusiones de las cuarenta pruebas. Por otra parte, los resultados de las pruebas fueron revisados mediante cinco procedimientos y tipos de instrumentos contruidos especialmente para ello. Hubo un responsable de cada procedimiento que se encargó de verificar la información, procesarla y analizarla. Los procedimientos de análisis fueron: 1) análisis de seguimiento ocular con Tobii Studio y captura de imagen de los videos. 2) Análisis semántico del discurso de los usuarios con NVIVO haciendo nubes de palabras que sirven para construir conceptos de diseño para futuros productos o modificaciones de los existentes. 3) Escaneo de las pruebas y análisis con Illustrator para medir la precisión de los usuarios y registrar la información. 4) Análisis de los errores principales y tiempos de uso de los objetos mediante los softwares Morae y Excel.

El grupo de investigación realizó dos seminarios internos para exponer los procedimientos, los métodos de análisis, las conclusiones y determinar los diálogos que se entablan entre los procedimientos establecidos previamente.

## 4. Resultados

Los resultados se presentan según los momentos del test de usabilidad: 1) visualización del objeto representado, 2) uso real de los objetos y 3) simulación de actividades con el objeto impreso en 3D.

En la Ilustración 3 se observa el montaje en el Laboratorio de Ergonomía: una usuaria con las Eye Tracker Glasses puestas, los tres facilitadores, los formatos de registro de información y el modelo 3D impreso que opera para las pruebas. Lo primero y más importante antes de comenzar el test de usabilidad es hacer el montaje del laboratorio. La imagen se considera un resultado porque se registró el espacio y las condiciones necesarias para hacer las pruebas.



Ilustración 3. Montaje en el Laboratorio de Ergonomía

#### 4.1 Resultados de la visualización del objeto representado

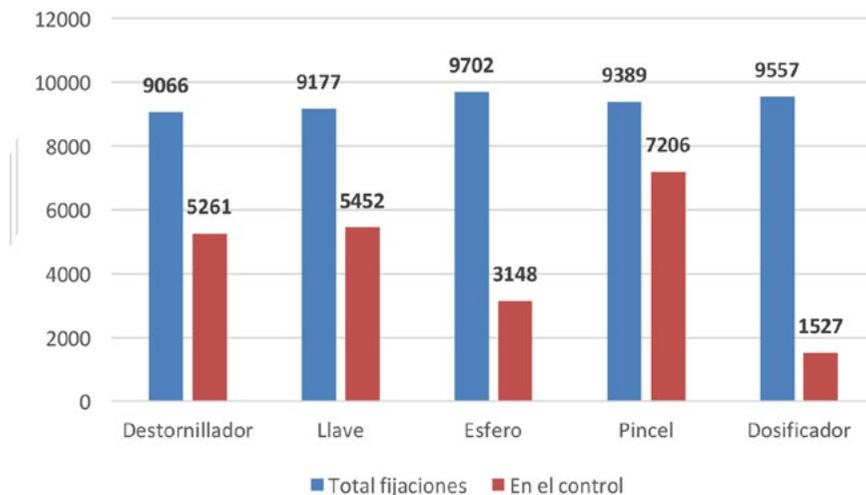
Luego de calibrar las Eye Tracker Glasses se ubicó al participante frente a un monitor y se le mostró un video con las representaciones de los cinco instrumentos. En el transcurso del video el usuario debía identificar el objeto y describir en voz la zona por la cual lo agarraría.

La Ilustración 1 muestra un ejemplo de los mapas de calor obtenidos con el software de las Eye Tracker Glasses, que corresponderían a un análisis cualitativo de las fijaciones acumuladas del usuario en la primera visualización a los objetos de precisión durante un minuto. Antes de que la personas viera los objetos se le preguntó por dónde lo tomaría. En el análisis cualitativo se constató la acumulación de las fijaciones de los hombres en el centro

y la punta de las herramientas, en comparación con la dispersión de la mirada de las mujeres.

La Gráfica 1 refleja el análisis cuantitativo capturado con las Eye Tracker Glasses y analizado con el software Tobii Studio cuando se le preguntó al usuario por cuál parte tomaría el objeto. La gráfica incluye el total de las fijaciones por parte de los usuarios ante las imágenes presentadas.

En la Gráfica 1 se observan dos barras por cada dispositivo. La primera barra muestra el total de las fijaciones de los usuarios. La segunda muestra las fijaciones que se hicieron en el control o sistema de manipulación de cada dispositivo. Por ejemplo, de las 9389 fijaciones contadas en el pincel, 7206 se hicieron en la zona del control: el 76% de las fijaciones de los usuarios fueron sobre el control del pincel.



Gráfica 1. Lugar de las fijaciones de los usuarios según el software Tobii Studio

Al contabilizar el total de las fijaciones en todos los dispositivos, la mayor cantidad de fijaciones en el control se hicieron en el pincel, la llave y el destornillador. Los objetos en los que los usuarios hacen menos fijaciones en el control son el destornillador y el esfero. Se aclara aquí que el software y las gafas cuentan las fijaciones de la mirada cuando los ojos se detienen en un lugar por 0.2 milisegundos.

Los datos sobre la cantidad de fijaciones de la Gráfica 1 muestran una gran confiabilidad con una desviación estándar de 262.14 fijaciones, que equivaldría a las miradas de una persona en aproximadamente un segundo.

En estos resultados se intuye que las tres herramientas más simples: el pincel, la llave y el esfero tienen más fácil comprensión. Quizás el esfero asimétrico y el posicionador con una forma atípica, que son menos cotidianos y además no tienen una simetría bilateral, son más difíciles de aprender por parte de los usuarios y por eso la dispersión de las fijaciones es mayor, o al menos, los usuarios fijan menos la mirada en los controles de estos objetos.

#### 4.2 Resultados del uso real de los objetos

En esta batería de pruebas el usuario hacía las siguientes tareas con cada objeto: mirarlo e identificarlo, y agarrar el dispositivo como habitualmente lo tomaría con el fin de determinar si identifica correctamente el objeto y conocer las impresiones sobre el objeto, sus características, y comodidad o incomodidad durante su uso. Se buscó utilizar el objeto en la actividad específica para la que fue diseñado y caracterizar las dificultades de uso.

En un análisis cualitativo que se refleja en la Ilustración 2, elaborada después de observar los videos capturados en la actividad real, se registraron las zonas de apoyo o contacto entre los objetos y las manos que interactuaron para agarrar el dispositivo en las representaciones de una mano por la zona palmar y dorsal. A pesar de que el registro de la información no es lo suficientemente objetivo, se observa el gran contraste de área apoyada entre el destornillador y el pincel, mientras que el esfero y la llave tienen zonas de agarre en las manos de áreas similares.

Con respecto a las respuestas sobre la comodidad e incomodidad de las herramientas de precisión analizadas, la pregunta se pre-

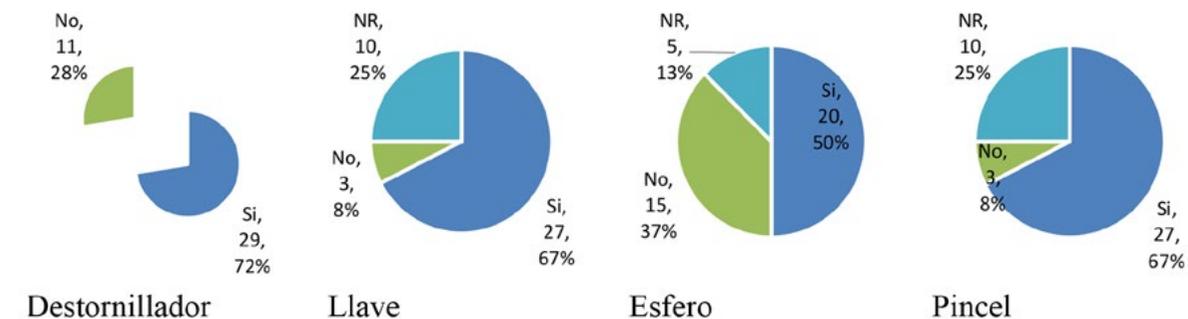
sentó de forma abierta por parte del facilitador principal luego de cada actividad real. Como se observa en la Gráfica 2, el mayor confort lo manifiestan las personas cuando usaron el destornillador.

Irónicamente, más adelante se mostrará en los resultados de la tarea simulada que la menos precisa se realiza con el destornillador, particularmente en las tareas de apuntar y atinar. Quizás, no presentar a los usuarios la opción de No responde (NR) en el caso del destornillador pudo alterar los resultados. El menos cómodo parece ser el pincel.

De otra parte, se realizó un análisis de discurso con base en las explicaciones dadas por el usuario mientras hacía la tarea real. La nube de palabra presentada en la Ilustración 4 fue elaborada con el software Nvivo y refleja los pensamientos y acciones en palabras de los usuarios durante la prueba real. Las palabras que más se repiten están escritas de forma horizontal y la letra es de mayor tamaño. La jerarquía de las palabras permite concluir que los usuarios identifican y accionan los objetos probados porque tienen una forma aprendida previamente. Por ejemplo, cinco usuarios hicieron referencia al aprendizaje del uso del pincel: aunque lo vieron en su infancia, no lo usaron.



Ilustración 4. Nube de palabras



Gráficas 2. La herramienta es cómoda o incomoda

### 4.3 Resultados de la simulación de actividades con el objeto impreso en 3D

Luego de las pruebas de realizar una tarea real con un objeto real se cambiaba el objeto por un modelo de la misma escala impreso en 3D. A estos objetos impresos se les adaptó una punta de esfero para dejar un registro de los movimientos con la herramienta, mientras los usuarios hacían unas tareas controladas que quedaban registradas en un formato en hojas tamaño carta diseñado para la prueba. Los cinco objetos se imprimieron en 3D.

La primera tarea simulada que hicieron los usuarios con los objetos impresos fue apuntar y atinar a cuatro círculos del formato, dibujando un punto en el centro de las circunferencias.

En la Ilustración 5 se observan cuatro círculos y se evidencia la marca en el centro de los círculos que hizo un usuario de la prueba. Estas imágenes fueron escaneadas y analizadas con el software Illustrator para medir la distancia entre la marca que dejó el usuario y la marca ideal en el centro del círculo. La precisión establecida fue de décimas de milímetro.

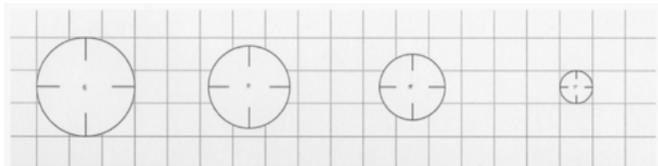
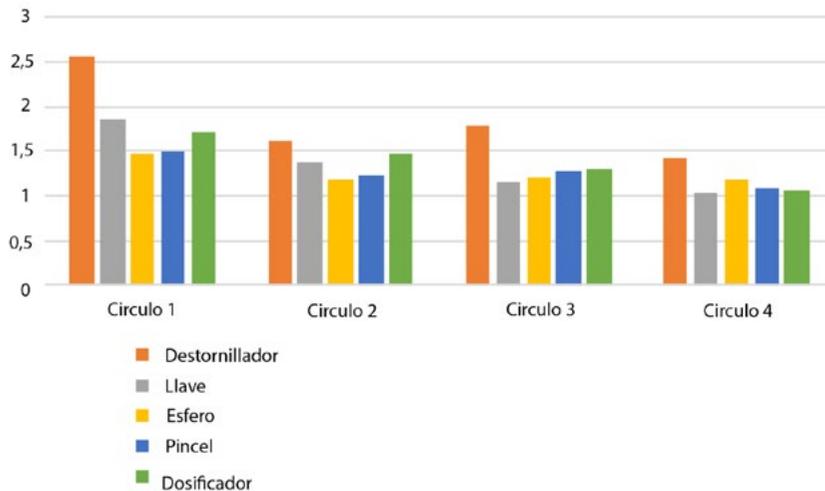


Ilustración 5. Formato para apuntar y atinar

En la Gráfica 3 se representa la distancia media en milímetros de todos los intentos de los cuarenta participantes para apuntar y atinar a los círculos desde el centro hasta la marca más lejana del trazo o punto que realizaron hasta el centro real de los círculos. El círculo 1 tenía un diámetro de 30 mm, el círculo 2 de 25 mm, el círculo 3 de 20 mm y el círculo 4 de 10 mm. Se observa que el círculo al que más atinaron los usuarios fue el círculo 4, es decir el de 10 mm de diámetro. Entre más grande es el círculo, más probabilidad existe de no atinar. El esfero y el pincel son los instrumentos con los que más atinaron.



Gráfica 3. Distancia en milímetros para atinar en los cuatro círculos usando los cinco dispositivos

De otra parte, en la prueba se evidenció una curva de aprendizaje que muestra cómo la distancia entre la marca realizada por el usuario y el centro del círculo disminuye a medida que se repite la tarea por una probable apropiación del movimiento para atinar al centro de la circunferencia. Se aprecia una diferencia importante en la capacidad de atinar entre el destornillador y las otras herramientas.

Se observa que la distancia media de la marca que hicieron los usuarios con el destornillador en el círculo 1, con respecto al centro real de los círculos, fue de 2.5 mm aproximadamente. En cambio, en el círculo 4 era inferior a los 1.5 mm. En conclusión, el usuario aprendió a apuntar y atinar con el destornillador en los círculos a medida que pasó del primer al último círculo. Este comportamiento se repite con los cinco dispositivos, evidenciando que el círculo con el menor diámetro es el más óptimo para realizar actividades de apuntar y atinar.

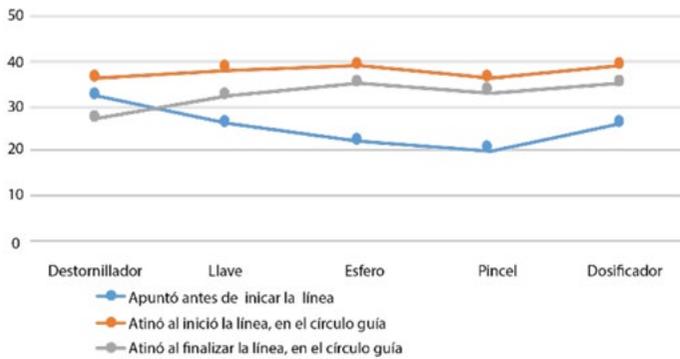
En los dos círculos de menor diámetro la llave presentó las menores distancias medias de la marca registrada a los centros reales de los círculos. Quizás su agarre bidigital ayude a hacer más precisas las tareas de apuntar y atinar. En el caso del destornillador, además de presentar mayores distancias medias del centro de la marca registradas al centro real de los círculos, las marcas dejaron un registro en forma de línea y no de punto.

En la Ilustración 6 se observa una línea compuesta por una zona de rectas y un par de arcos que debían seguir los usuarios. Se evidencia que el usuario No. 26, por ejemplo, tiene mayor dificultad en mover el dispositivo en los arcos. Estas imágenes fueron escaneadas y analizadas con el software Illustrator, tanto para analizar el acierto en los inicios del camino como los cambios de la trayectoria, y medir qué porcentaje del camino presionaban y movían los dispositivos por el camino guía.



Ilustración 6. Formato para presionar y mover

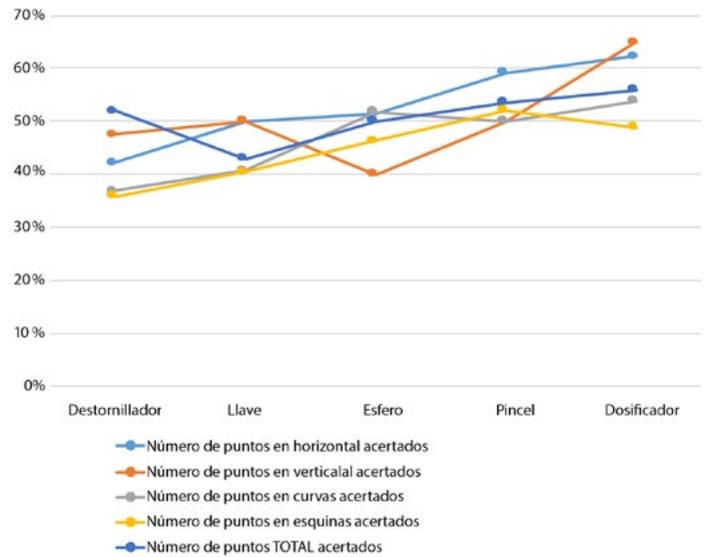
Para elaborar la Gráfica 4 se analizaron los videos grabados con las Eye tracker Glasses y las cámaras auxiliares, particularmente las laterales. Para apuntar, se observaron los gestos de los usuarios, estudiando el tiempo que tomaban para iniciar las tareas, considerando qué apuntaban o no. En cambio, los datos relacionados con la capacidad para atinar se tomaron con base en el inicio y el final de la línea, a partir de los formatos de registro de la Ilustración 6. Si los usuarios no comenzaban la línea en el círculo de inicio, se consideraba como un desatino. Esto también se tuvo en cuenta para el final de la línea, la cual tenía dibujado otro círculo.



Gráfica 4. Comparación: apuntar y atinar al inicio y final de la línea

Se observa en la Gráfica 4 que cerca de la mitad de los participantes apuntaron con el pincel y el esfero, en cambio, el número de aciertos al inicio y al final de la trayectoria fue de casi de la totalidad de los usuarios. Es importante recordar que para esta prueba la trayectoria contaba con un círculo de 3 mm de diámetro al inicio y otro al final. Resaltamos que 35 sujetos apuntaron al inicio de la línea con el destornillador y 38 atinaron a este círculo al inicio de la línea. A pesar de que la efectividad para acertar en el inicio de la línea es incluso superior al proceso de apuntar, 28 personas acertaron al final de la línea. Con este instrumento, por ejemplo, únicamente se logra precisión al inicio del desplazamiento. En contraste con el destornillador, el pincel parece ser muy preciso al final y al comienzo de la línea, a pesar de que sólo 20 sujetos apuntaron con este dispositivo. Esta observación nos permite afirmar que instrumentos con agarre de mano llena como el destornillador tienden a tener poca precisión en comparación con los que tienen un agarre tridigital (de tres dedos) como el pincel.

La Gráfica 5 presenta la cantidad promedio de aciertos que se tuvieron en cada sección de la línea. Los tipos de líneas en trayectoria podían ser horizontales, verticales, curvas y esquinas. La gráfica muestra los porcentajes correspondientes a cada herramienta con los datos de la totalidad de la población. Se registra que el dosificador es la herramienta con mayor cantidad de aciertos en el desarrollo de líneas verticales, horizontales y curvas, seguido por el pincel. El destornillador es el menos apto para hacer marcas en las esquinas a diferencia del pincel, que recibió los mejores puntajes en la prueba. Si se suman todos los tipos de líneas que se analizaron, el pincel obtiene los porcentajes más altos.



Gráfica 5. Promedio de aciertos en la línea

En la Ilustración 7 se observa el camino que debían seguir los usuarios con los objetos compuesto por una zona de rectas y unas curvas. Se les pidió a los participantes que siguieran el camino lo más al centro posible y sin tocar los bordes. Sólo para dar un ejemplo se presenta el caso del usuario No. 26, en el cual se evidencia que el usuario tiene serias dificultades para hacer las trayectorias rectas. Estas imágenes fueron escaneadas y analizadas con el software Illustrator para observar cómo mantenían el centro del camino gracias a unos puntos de control. También se tuvo en cuenta cuándo tocaban los bordes del camino.

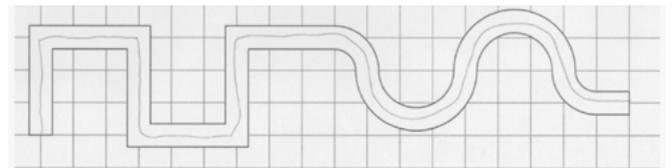
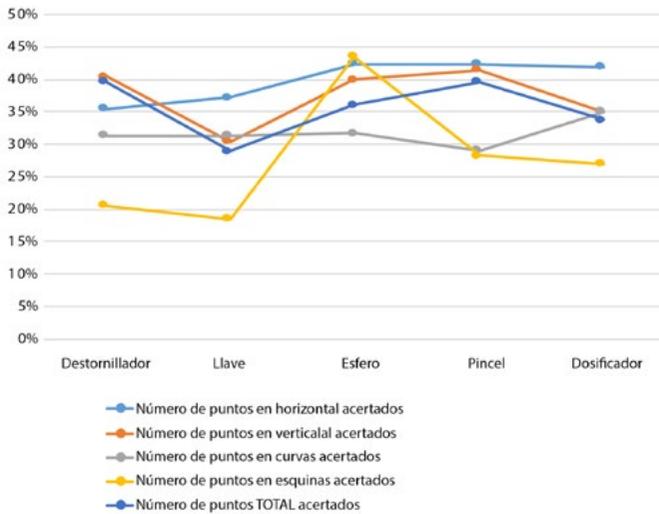


Ilustración 7. Formato para mantener y arrastrar

En la Gráfica 6 se presentan los resultados de todos los usuarios y los cinco dispositivos. Al escanear las imágenes, se tenían 20 puntos de control por los que pasaría una trayectoria ideal. Si las trayectorias de los usuarios pasaran por todos los puntos tendrían el 100% de los aciertos. En cambio, si pasaran por 10 puntos tendrían solo 50% de los aciertos.

Así, en la ejecución ideal del camino, el destornillador y el esfero presentan datos bastante bajos en los puntos acertados en las esquinas. La única constante en el desarrollo de esta tarea es el trazo horizontal donde todas las herramientas obtienen puntajes altos, resaltando el esfero, el pincel y el dosificador. El número de aciertos en curvas es bajo y continuo, por lo que se puede afirmar que ninguna de estas herramientas está diseñada para realizar ese tipo de tareas. El trazo en las esquinas es el más variable de los aspectos, teniendo puntajes en los extremos que dejan al esfero como la única herramienta que permite resolver dicha actividad. Se puede intuir que sólo el pincel y el esfero permiten hacer cambios significativos de la trayectoria para mantener y arrastrar.



Gráfica 6. Porcentaje de aciertos por el centro del camino

## 5. Discusión de algunos resultados

De los resultados obtenidos con las Eye Tracker Glasses y los videos analizados con el software Tobii Studio se observa una gran cantidad de fijaciones en el control registradas en la Gráfica 1, que depende de si el usuario conoce o no previamente el objeto. Por ejemplo, en el destornillador, el 59% de las fijaciones se hacen sobre el mango, mientras que en el dosificador, que era un objeto desconocido, sólo se da el 15% de la veces. También se evidencian patrones de fijación diferentes entre hombres y mujeres: los primeros se concentran en mayor medida en la punta o en la zona de acción de la herramienta, mientras que las segundas son más dispersas.

Con los formatos escaneados y analizados con Illustrator para medir la precisión y la exactitud se evidenció un mejor manejo de las herramientas por parte de la población femenina, generando una mayor cantidad de aciertos en las esquinas de los recorridos. El error más común, con un 60% de fallo, fue no encajar la llave en la cerradura en el primer intento, seguido por realizar agarres incorrectos, y posturas e inclinaciones forzadas a la hora de escribir con el esfero, característica del 50% de los participantes.

Con respecto a la curva de aprendizaje planteada por Nielsen (1993), a partir del análisis de discurso realizado con el software Nvivo se encontró que existe una preconcepción de la forma asociada a los objetos o a sus partes, tanto entre hombres como en mujeres. La nube de palabras de la Ilustración 4 muestra que pocos usuarios explican la forma del objeto desde su función o de la estructura de las partes que lo componen cuando se les pregunta por qué identificaron el objeto. Al contrario, responden que lo hicieron "porque tiene forma de destornillador" o "porque tiene forma de pincel".

Este fenómeno cambia cuando se habla de confort. Las referencias de las mujeres se inclinan generalmente hacia la relación biomecánica con el objeto, mientras que los hombres al uso y a

la función del mismo. Los participantes encontraron más confortable el pincel en su primer acercamiento de uso, pero posterior a la acción, el destornillador se percibe más adecuado.

## 6. Conclusiones

En la investigación relacionada con el desarrollo de métodos para hacer pruebas de usabilidad valorando las herramientas de precisión, el seguimiento ocular resultó útil para identificar patrones de mirada y fijación sobre los objetos con diferentes características entre los hombres y las mujeres. Las representaciones o renders (representación fotorealística de un objeto proyectado al futuro) de los objetos, incluso las impresiones de objetos en 3D, resultan de utilidad para anticipar rutas de uso en dispositivos de precisión usados con las manos. En este sentido, se encontró que el prototipado e impresión 3D aumenta la velocidad en el proceso de diseño de detalle de un producto-servicio para hacer pruebas de usabilidad.

Además de los detalles morfológicos de las herramientas manuales de precisión, seleccionados por conveniencia para este proyecto de investigación, se comprendió que las habilidades más importantes para el desempeño de los usuarios en las actividades de detalle son apuntar, atinar y seguir trayectorias. Estos afectan en mayor medida la percepción de comodidad por parte de los usuarios.

Una de las conclusiones de esta investigación es que los patrones de mirada cambian luego de que el usuario lleva a cabo una tarea. La relación entre la mirada y los diferentes aspectos de diseño a evaluar pueden ser usados para desarrollar métodos o técnicas de usabilidad combinados, por eso se recomienda el uso de formatos con tareas para ser registradas con el seguimiento ocular que arrojará información cuantitativa, así como las encuestas. De igual manera se sugiere cruzar los casos individuales con los datos generales para identificar tendencias.

La aplicación de estos métodos o técnicas de la usabilidad puede ayudar a evaluar los aspectos visuales del diseño de productos. Por ejemplo, teniendo en cuenta los resultados de la Gráfica 1, el diseño adecuado del sistema de control o mango de las herramientas de precisión requiere de superficies fáciles de identificar y que se parezcan a herramientas similares de la vida cotidiana. En otras palabras, tener en cuenta las zonas donde más se fija la mirada y la comprensión de la forma en comparación con otros objetos podrían ayudar a mejorar la toma de decisiones de diseño. Otro elemento que daría pistas para mejorar las herramientas de precisión cotidianas usadas con las manos serían las mirillas, las guías concéntricas con círculos proyectados de entre 10 y 20 mm, las ranuras y otras señales que sirvan para orientar el uso de las herramientas. Finalmente, la configuración y la morfología de los sólidos para el agarre de los objetos precisos influye en el desempeño de las tareas. Por ejemplo, los cilindros, a pesar de su obviedad, con simples cambios de diámetro pueden mejorar el agarre y son los más recomendados.

En el análisis teórico se encontraron nuevas categorías de la usabilidad que pueden aplicar los diseñadores de productos precisos y exactos como la obviedad semántica, la predictibilidad en la dirección de uso, la controlabilidad en los inicios de movimientos y en los movimientos en esquina que son susceptibles de ser incorporados a futuros desarrollos o diseños de producto.

Estos aspectos se pueden formular como generación de ideas, es decir, como requerimientos, especificaciones y deseos para el diseño o rediseño de las herramientas manuales de precisión del futuro. También como control de ideas, en otras palabras, como límites, restricciones y determinantes de diseño que ayudan a seleccionar ideas más o menos adecuadas tanto en la metodología proyectual, como en la selección de herramientas de precisión para tareas específicas. 

## Bibliografía

- BERGSTROM, J. R. y SCHALL, A. J. (2014). *Eye tracking in user experience design*. Waltham: Elsevier.
- CHO, Y., et al. (2011). "Investigating the basic components of user value through an ethnographic study". En: A.-H. Wang (ed.), *Ergonomics for all: celebrating PPCOE's 20 years of excellence*. Londres: CRC Press, pp. 123-126.
- DE BRUIN, J. A. (2014). *Automated usability analysis and visualisation of eye tracking data*. Pretoria: University of Pretoria.
- GARCÍA ACOSTA, G., et al. (2015). *Herramienta ortodóntica para ubicar, posicionar y adosar brackets en la superficie vestibular del diente*. Consultado en: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2015025255&recNum=66&docAn=IB2014063934&queryString=&maxRec=10806>
- HARIH, G. y DOLŠAK, B. (2013). "Tool-handle design based on a digital human hand model". *International Journal of Industrial Ergonomics*, 43 (4): 288-295.
- JOHNSON, M., OCHOA, L. y PURPUR, G. (2007). "Virtually usable: a test of the information gardens". *The Journal of Academic Librarianship*, 33 (5): 593-601.
- KUIJT-EVERS, L. F. M., et al. (2004). "Identifying factors of comfort in using hand tools". *Applied Ergonomics*, 35: 453-458.
- MITAL, A., SUBRAMANIAN, A. y PENNATHUR, A. (2007). "Hand tools". En: S. Kumar (ed.), *Biomechanics in ergonomics*. Edmonton: CRC Press, pp. 288-332.
- MOJICA, R. (2015). "Diseño de un dosificador de fluidos". Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Diseño Industrial. Documento inedito.
- NIELSEN, J. (1993). *Usability engineering*. Cambridge: Academic Press.
- PUNTES-LAGOS, D. E. (2016). "Características de las herramientas manuales de precisión a partir del seguimiento ocular". Medellín, ponencia presentada en la 22 Semana de la Salud Ocupacional.
- RAYNER, K. (1995). "Eye movements and cognitive processes. Review of perception and cognition: advances in eye movement research". *American Journal of Psychology*, 108 (3): 460-464.
- RICHARDSON, S., et al. (2017). "'Think aloud' and 'near live' usability testing of two complex clinical decision support tools". *International Journal of Medical Informatics*, 106: 1-8.
- SELWAY, M., et al. (2015). "Formalising natural language specifications using a cognitive linguistic/configuration based approach". *Information Systems*, 54: 191-208.
- U.S. DEPARTMENT OF HEALTH & HUMAN SERVICES. (2014, December 2). *Eye tracking*. Consultado en: <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/eye-tracking.html>
- VAN KUIJK, J., VAN DRIEL, L. y VAN EIJK, D. (2015). "Usability in product development practice; an exploratory case study comparing four markets". *Applied Ergonomics*, 47: 308-323.
- WIKLUND, M., KENDLER, J. y YALE, A. (2011). *Usability testing of medical devices*. Boca Ratón: CRC Press. Consultado en: <http://www.nortonaudio.com/Ficheiros/Usability/1439811830.pdf>