

6. Interacción Humano-Computadora

6.1. Introducción

Los orígenes de la Interacción Humano-Computadora (IHC) pueden remontarse a la época de la posguerra, cuando Vannevar Bush introduce en el artículo *As we may think*¹ muchos de los conceptos que han inspirado investigaciones y desarrollos tecnológicos en el área, tales como hipertextos e hipermedios, interfaces gráficas, interfaces basadas en voz, ambientes de colaboración e interfaces naturales. En la década de los sesenta se produjeron avances importantes en la investigación y desarrollo de prototipos, así como sistemas de demostración de concepto que hoy son componentes fundamentales de sistemas interactivos. Los sistemas de ventanas, la videoconferencia, los hipertextos y el ratón como dispositivo de interacción se implementaron y presentaron por primera vez en 1968 por Douglas Engelbart. En los setenta, los investigadores de IHC produjeron las primeras interfaces gráficas de usuario, las cuales representaron un avance significativo para acercar las tecnologías de información a comunidades amplias de usuarios particularmente cuando, ya en los ochenta, fueron la base de computadoras personales disponibles comercialmente.

Hasta antes del surgimiento formal de IHC como disciplina, mucho del avance en computación se centra en el desarrollo de hardware. En su trabajo

¹ <https://www.theatlantic.com/magazine/archive/1945/07/as-we-may-think/303881/>

seminal Jonathan Grudin habla de cinco etapas en el desarrollo de interfaces de usuario.² En la primera, antes de IHC, se tiene como interfaz al hardware, cuyos principales usuarios son ingenieros especializados. En la segunda, con el nacimiento de los lenguajes de programación de alto nivel, las interfaces se centran en la tarea de programar eliminando la necesidad de conocer detalles del hardware. En la tercera, a través del monitor y el teclado el usuario se comunica por medio de comandos que debían ser comúnmente memorizados. En la cuarta aparecen los diálogos interactivos con los sistemas por medio de interfaces gráficas de usuario o *Graphical User Interfaces* (GUIs), cuyo diseño e implementación requiere a su vez del desarrollo de marcos teóricos que permitan entender la ejecución de tareas complejas. Finalmente, en la última etapa, se vislumbra una computadora que va más allá del individuo, que tiene impacto en lo grupal y donde la colaboración, diligencia, cargos o autoridad se tienen que considerar de forma explícita. En este sentido, de la mano de esta evolución, se tiene cada vez más una interrelación con otras disciplinas que van desde la ingeniería eléctrica y electrónica, las ciencias de la computación, los factores humanos, la psicología cognitiva, hasta la sociología, la antropología y la psicología social. Más allá de las etapas que plantea Grudin,³ la evolución tecnológica y de investigación en el área se ha centrado en las interfaces naturales en las cuales los usuarios no necesariamente tienen que aprender a usar una computadora ya que dichas interfaces aprovechan las conductas naturales de los seres humanos.

IHC estudia el diseño, implementación y evaluación de sistemas interactivos en el contexto de las actividades del usuario. En esta disciplina el término *humano* no se refiere necesariamente a un individuo, sino que puede referirse a un grupo de individuos con un perfil determinado o trabajando de manera colectiva, en secuencia o en paralelo. A su vez, el término *computadora* se refiere a una amplia gama de sistemas que pueden ir desde una

² Grudin, J. (1990). **The computer reaches out: the historical continuity of interface design.** En *Proc. of the SIGCHI Conference on Human factors in Computing Systems (CHI'90)*, ACM Press, pp. 261–268.

³ Idem.

computadora de escritorio, un teléfono celular, un vehículo, un horno de microondas, una tostadora de pan, un sistema embebido, hasta sistemas que incluyan elementos no necesariamente computarizados como personas o procesos. Finalmente, el término *interacción* involucra todo lo que se relaciona con el diálogo entre el humano y la computadora, utilizando dispositivos de entrada y salida, ya sea de manera implícita o explícita. Por estas razones, cuando se habla de computadoras en IHC se habla en realidad de sistemas interactivos.

Un concepto central en IHC es el de “usabilidad”. Éste se refiere a que el humano pueda llevar a cabo la actividad que desea realizar con la ayuda de la computadora. El sistema debe brindar soporte para que los seres humanos realicen satisfactoriamente diversas actividades; por ejemplo, de trabajo, entretenimiento o ejercicio. Para este efecto el sistema debe ser *útil* (hacer lo que se desea: escuchar música, cocinar), usable (fácil de manipular, fácil de aprender, sin errores) y usado de manera frecuente (aceptado, de manera que la gente desee usarlo porque es útil, divertido o atractivo). Por el contrario, un sistema no usable es aquel donde el humano es forzado por la computadora a realizar una actividad de manera diferente.

Los tres conceptos mencionados —humano, computadora e interacción— ayudan a entender el desarrollo de IHC así como su naturaleza transdisciplinaria; la estructura de este capítulo se basa en estos tres conceptos. Se parte de marcos teóricos que se han utilizado ampliamente para ayudar a conocer al humano. Asimismo, la evolución constante y vertiginosa de la computadora ha ido de la mano con el desarrollo del área. Finalmente, para tratar de tener una interacción adecuada se resalta la importancia del proceso de diseño de nuevas formas de la computadora, así como el proceso de evaluación como una retroalimentación al proceso de diseño. En cada subsección se presentan ejemplos de los proyectos más relevantes del área, así como del trabajo de la comunidad de IHC en México.

6.1.1. El humano

El humano tiene limitaciones naturales para el procesamiento de información que impactan en el diseño de sistemas interactivos (por ejemplo, un cirujano no puede controlar una cámara mientras realiza una operación). Estas limitaciones o características se consideran y a menudo se estudian para el diseño de productos en IHC. Además, hay factores inherentes a la condición humana, como el cansancio, el aburrimiento y el enojo, que también se deben tomar en cuenta. Esto es particularmente relevante cuando las computadoras se usan en condiciones extremas o críticas (por ejemplo, por un piloto de avión).

De igual manera la información que proviene de las computadoras y del ambiente se captura por diversos canales como el auditivo, el visual, el háptico y el movimiento, y se guarda de manera temporal o definitiva en nuestra memoria de corto o largo plazo. Todos los datos que recibimos a través de los canales mencionados se procesan de manera consciente o inconsciente y a través de mecanismos muy complejos, nos permiten resolver problemas, razonar, adquirir habilidades y conocimiento, y hasta cometer errores. De igual manera las emociones impactan en nuestras actividades mentales y/o físicas, e incluso, si son muy fuertes, pueden llevar nuestras capacidades al límite. Aún cuando los humanos compartimos diferentes habilidades y capacidades las diferencias individuales se deben considerar para diseñar productos usables.

6.1.2. La computadora

La evolución de la computadora ha ido de la mano de la competencia entre compañías productoras de hardware. Sin embargo, cuando surge la computación personal en los años ochenta, el software se convierte en un diferenciador para las compañías que contaban con interfaces gráficas de usuario, como Apple, Microsoft y Xerox; por estas mismas razones la IHC adquiere una mayor relevancia.

Los dispositivos clásicos de entrada, como el teclado y el ratón, y de salida, como el monitor o proyector, el audio y la impresora, fueron objeto de intenso estudio en los ochenta, pero desde entonces ha habido innovaciones notables, como el reconocimiento del habla, las pantallas táctiles, las plumas digitales y, recientemente, el auge de los sensores o bio-señales en el caso de los dispositivos de entrada, y las pantallas públicas y el papel digital en los de salida. De igual forma, también ha habido un desarrollo importante, aunque en menor grado, en otro tipo de dispositivos de entrada/salida, como los controles físicos, la realidad virtual y aumentada, así como la retroalimentación háptica, olfativa y algunos actuadores.

En resumen, la computadora ha impactado significativamente la vida profesional y cotidiana tanto que algunas actividades comunes serían impensables hoy en día sin este artefacto tecnológico.

6.1.3. La interacción

La interacción se entiende como un diálogo entre la computadora y el humano. Debido a la gran diversidad de personas y de contextos en los que se usan las computadoras, continuamente se proponen métodos y técnicas para entender mejor cómo es o cómo debería ser este proceso. El diseño de computadoras es un proceso inherente al IHC en el que intervienen diversos factores como: i) las personas para las que se diseña (por ejemplo, sus habilidades, capacidades y limitaciones); ii) la actividad que se desempeñará con la computadora (por ejemplo, una cirugía a corazón abierto); y iii) el contexto en el cual se realizará la actividad (por ejemplo, un quirófano, sentado en la sala o en una oficina o un vehículo de carreras). Generalmente, la interacción se da en un lugar donde los aspectos sociales y el contexto organizacional tienen un efecto importante tanto en la persona (humano) como en el sistema (computadora).

De igual manera, una vez que se ha diseñado un sistema interactivo, se tiene que verificar que efectivamente el producto cumple con su propósito.

Por ejemplo, si el sistema es un software para aprendizaje de matemáticas se tiene que evaluar si éste permite aprender igual o mejor que con el apoyo de un profesor tradicional o con el de otro software diseñado para el mismo propósito. La evaluación no sólo abarca la efectividad del sistema interactivo sino también otros aspectos como eficiencia, eficacia, satisfacción al momento de usarlo e incluso su adopción final.

6.2. Modelos cognitivos y de interacción

La IHC no cuenta con una teoría unificada para describir, entender y predecir acciones del humano, por lo que adopta teorías y modelos de la psicología, la sociología y la antropología, entre otras; incluso no hay certeza de que sea posible establecer una teoría general de la IHC debido a la naturaleza compleja y diversa del área. No obstante, mucho del esfuerzo que se ha realizado en esta disciplina en términos de modelos y teorías se enfoca al estudio de las interacciones entre el humano y la computadora, las cuales, a la postre, sirven para el diseño de computadoras adecuadas para los humanos.

La tendencia en los años ochenta fue tratar de modelar de manera cognitiva el desempeño de una persona al utilizar una computadora para posteriormente optimizarlo mediante mejores diseños. Dichos modelos, denominados genéricamente “Modelo Humano Procesador” tenían como objetivo ayudar a los desarrolladores de sistemas a aplicar principios de psicología cognitiva. Estos modelos también se utilizaron para evaluar la usabilidad de un producto.

La evolución de estos modelos se facilitó en parte por desarrollos similares en áreas de ingeniería y diseño, muy cercanas y a menudo traslapadas con la IHC, como la ingeniería del factor humano y el desarrollo de documentación.⁴ La primera había desarrollado algunas técnicas empíricas de análisis de tareas para medir las interacciones entre el humano y algunos

⁴ Carroll, J. M., **Human Computer Interaction - Brief intro**. <https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/human-computer-interaction-brief-intro>

sistemas, notablemente en dominios como la aviación y la manufactura, y se extendía al área de sistemas interactivos en los que los operadores humanos realizaban labores de resolución de problemas cotidianamente. Por otro lado, el desarrollo de documentación se movía más allá de su papel tradicional de producir descripciones técnicas hacia un enfoque más cognitivo en el que se incorporaban teorías de escritura, lectura y medios, con evaluación empírica con usuarios, ya que los documentos escritos y otros medios también necesitaban ser usables.

6.2.1. Modelos de comportamiento motor

Los modelos de comportamiento motor se inspiran en las capacidades, limitaciones y potencial del cuerpo humano, especialmente en la armonía entre estas características humanas y los diversos dispositivos de entrada/salida. Es conveniente imaginar este tipo de modelos como un continuo que va de las analogías y metáforas a los modelos matemáticos. La mayoría de los modelos se ubican en algún punto intermedio, donde los modelos descriptivos se cargan hacia el lado de las metáforas y los modelos predictivos hacia el de las ecuaciones matemáticas, como se ilustra en la Figura 6.1.



Figura 6.1. Tipos de modelos basados en el comportamiento motor del humano

Los modelos descriptivos proveen un marco teórico para caracterizar un contexto o un problema. Generalmente consisten en una serie de categorías interrelacionadas de manera gráfica que sirven al diseñador como una guía para la creación de sistemas computacionales adecuados para la interacción

del usuario con el sistema. Por ejemplo el *Key-Action Model* (KAM),⁵ o Modelo Tecla-Acción, describe al teclado como un conjunto de teclas que pertenecen a tres categorías: simbólicas, ejecutivas y modificadoras. Las teclas simbólicas envían un símbolo a la pantalla, como letras, números o símbolos de puntuación; las ejecutivas indican una acción para el sistema computacional o a nivel del sistema operativo, como F1 o ESC; finalmente, las teclas modificadoras cambian el comportamiento de otras teclas como SHIFT o ALT. La utilidad de este modelo es que a pesar de su sencillez permite pensar cómo sería un teclado con una forma diferente, tomando en consideración tales categorías. Existen otros modelos como el Modelo de los 3 Estados para Entradas Gráficas de Bill Buxton,⁶ en el que se describen las transiciones de estado de los dispositivos que apuntan, como el ratón.

Por otra parte, los modelos predictivos tienen un corte ingenieril y se usan en una gran diversidad de disciplinas. Una de sus ventajas es que permiten determinar analíticamente algunas métricas de rendimiento del humano sin la necesidad de recolectar datos empíricos, lo cual suele ser costoso en tiempo y dinero. Uno de los más populares consiste en la aplicación de la ley de Hick-Hyman para estimar el tiempo de reacción al elegir opciones. Este modelo tiene la forma de una ecuación: dado un conjunto de estímulos, cada uno asociado con respuestas, el tiempo de reacción (RT) entre el estímulo y la respuesta está dado por:

$$RT = a + b \log_2(n)$$

donde a y b son constantes que se obtienen empíricamente. Este modelo se ha utilizado, por ejemplo, para estimar el tiempo que le toma a una operadora telefónica seleccionar entre 10 botones después de que se enciende una luz

⁵ Carroll, J. M. (Ed.). **HCI models, theories, and frameworks: Toward a multidisciplinary science**. Morgan Kaufmann, 2013.

⁶ Buxton, W. (1990). **A Three-State Model of Graphical Input**. En D. Diaper et al. (Eds), *Human-Computer Interaction - INTERACT '90*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), pp. 449-456.

detrás de uno de ellos.⁷ La Ley de Hick-Hyman se ha utilizado también para predecir el tiempo que toma seleccionar elementos en un menú jerárquico.⁸

Otros modelos predictivos han surgido específicamente en IHC como el modelo *Keystroke-Level Model* (KLM)⁹ que tiene por objetivo predecir el tiempo que toma ejecutar una tarea en un sistema computacional; particularmente el tiempo para completar las tareas realizadas por expertos sin considerar errores, dados los siguientes parámetros:

- Tareas o una serie de sub-tareas
- Método utilizado
- Lenguaje de comandos del sistema
- Parámetros motor-habilidad del usuario
- Parámetros tiempo-respuesta del sistema

Una predicción KLM es la suma de los tiempos de las sub-tareas y el tiempo en general (overhead). Este modelo incluye cuatro operadores de control-motor (K = Key stroking, P = Pointing, H = Homing, D = Drawing), un operador Mental (M) y un operador Respuesta-del-sistema (R):

$$T_{EXECUTE} = t_K + t_P + t_H + t_D + t_M + t_R$$

Algunas de las operaciones se pueden omitir o repetir dependiendo de la tarea. Por ejemplo, si una tarea requiere presionar el teclado n veces se convierte en $n \times t_K$. A cada operación t_K se le asigna un valor de acuerdo con la habilidad del usuario, con valores que van desde $t_K = 0.08$ para los que

⁷ Card, S. K., Moran, T. P., Newell, A. **The psychology of human-computer interaction.** Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1983.

⁸ Landauer, T. K., Nachbar, D. W. (1985). **Selection from alphabetic and numeric menu trees using a touch screen: Breadth, depth, and width.** *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems—CHI '85*, New York: ACM Press, pp.73–77.

⁹ Card, S. K., Moran, T. P., Newell, A. (1980). **The Keystroke-Level Model for user performance time with interactive systems.** *Communications of the ACM*, 23:396–410.

son muy hábiles hasta $t_k = 1.20$ para quienes no lo son o utilizan un teclado que no les es familiar. Desde su introducción este modelo se ha utilizado en diversos contextos en IHC para predecir el rendimiento de usuarios con menús jerárquicos¹⁰ o el rendimiento de personas con discapacidades físicas al ingresar un texto.¹¹

6.2.2. Modelos de procesamiento de información

Aún cuando los modelos basados en comportamiento motor fueron exitosos, a medida que aumentó la complejidad de las interfaces, se requirieron modelos que tomaran en cuenta las interacciones entre humanos y computadoras de manera integral y no solamente en interacciones discretas. De igual forma, se requería que los modelos se centraran en el contenido de los monitores o pantallas, más allá de la manera en que estaban organizadas. En este contexto surgieron otros modelos basados en procesamiento de información que, tomando como analogía un programa de computadora, se describen en términos de mecanismos locales, pero que tomados en conjunto realizan comportamientos de alto nivel.

En la Figura 6.2 se ilustra un modelo generalizado del humano como procesador de información. El Procesador en el centro del diagrama recibe información de los Receptores y controla a los Efectores. Asimismo, envía y recibe información de la Memoria. Con el paso de los años, esta manera de ver la interacción entre humanos y computadoras llevó a la creación de modelos que analizan tareas como *Goals, Operators, Methods* y *Selection rules* (GOMS). Estos modelos son importantes para áreas orientadas a la ingeniería de

¹⁰ Lane, D. M., Napier, H. A., Batsell, R. R., Naman, J. L. (1993). **Predicting the skilled use of hierarchical menus with the keystroke-level model.** *Human-Computer Interaction*, 8(2):185–192.

¹¹ Koester, H., Levine, S. P. (1994). **Validation of a keystroke-level model for a text entry system used by people with disabilities.** *Proceedings of the First ACM Conference on Assistive Technologies*. New York: ACM Press, pp. 115–122.

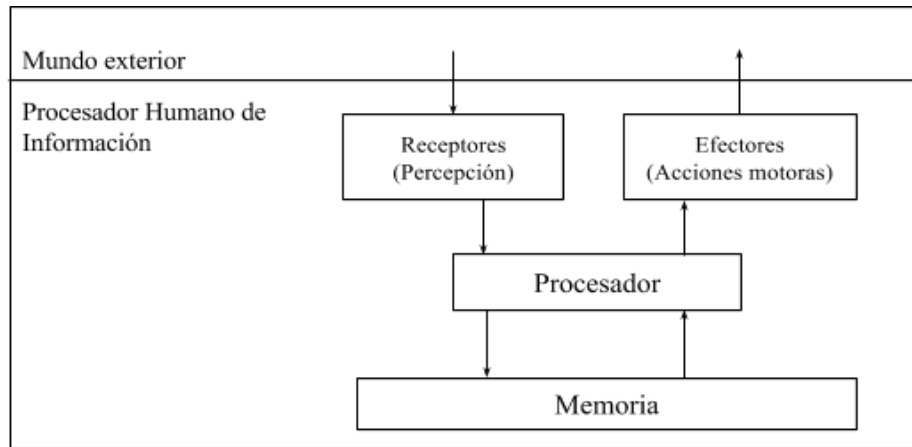


Figura 6.2. Representación esquemática del humano como sistema de procesamiento de información.¹²

software, en la que se pueden utilizar para el diseño de productos sin necesidad de realizar estudios empíricos que muchas veces resultan ser costosos. Aún cuando los modelos tipo GOMS no permitían predecir comportamientos muy complejos, sí fueron exitosos para predecir tareas muy específicas; por ejemplo, la velocidad de una persona para ingresar datos a través del teclado en diferentes teclados.

En particular, GOMS es un modelo cognitivo en el que se utiliza una estrategia de análisis basada en dividir las metas del usuario en sub-metas de manera recurrente hasta llegar a las metas que se pueden realizar directamente.¹³ Por ejemplo, para realizar un reporte de ventas del libro “Interacción Humano-Computadora en México” se puede dividir la tarea en varias sub-metas, como recolectar los datos, analizarlos, producir gráficas adecuadas como histogramas y escribir el reporte. Asimismo, la sub-meta recolectar datos se

¹² Carroll, J. M. (Ed.). **HCI models, theories, and frameworks: Toward a multidisciplinary science**. Morgan Kaufmann, 2003.

¹³ Card, S., Moran, T., Newell, A. **The model human processor- An engineering model of human performance**. Handbook of perception and human performance, Vol. 2, pp. 45-1, 1986.

puede dividir en varias sub-metas como contactar editorial, solicitar información de volúmenes vendidos, etc. Las metas se pueden subdividir hasta un nivel muy bajo, como mover las manos o los ojos, por lo que es importante tener en consideración el nivel de descripción apropiado para la tarea. GOMS consiste de cuatro elementos básicos:

- Metas (*Goals*): Describen qué es lo que el usuario quiere realizar. Deben representar un “punto en la memoria” del usuario en el que se puede analizar qué tiene que realizar y qué tarea se puede retomar en caso de que algo salga mal.
- Operadores (*Operators*): Constituyen el nivel de análisis más básico y consisten en las acciones concretas que debe realizar un usuario para operar un sistema. Hay mucha flexibilidad en cuanto al nivel que se requiere, y pueden incorporar acciones que afecten al sistema (e.j. presionar la tecla *Enter*) o al estado mental del usuario (e.j., leer una ventana de diálogo en la que se indica el error).
- Métodos (*Methods*): Constituyen las diferentes maneras como se puede realizar una meta. Por ejemplo, para cerrar la ventana actual el usuario puede i) seleccionar la *X* en la esquina superior derecha; ii) mostrar el menú emergente y seleccionar la opción *Cerrar Ventana* o iii) presionar la combinación de teclas ALT+F4. En GOMS estos métodos se pueden representar como el METODO-X, METODO-ME, o METODO-F4.
- Reglas de selección (*Selection Rules*): Estas reglas tienen por objetivo predecir cuál o cuáles métodos serán empleados por los usuarios, lo cual depende en muchos casos del mismo usuario, así como del estado del sistema. En el siguiente ejemplo se tienen tres métodos diferentes para llevar a cabo la misma Meta.

META: *CERRAR VENTANA*

[SELECCIONAR

META: *USAR-METODO-X*

MOVER CURSOR HACIA LA ESQUINA SUPERIOR

CLIC EN ICONO X

META: *USAR-METODO-ME*

MOVER CURSOR HACIA ENCABEZADO DE VENTANA

CLIC DERECHO EN RATON

SELECCIONAR OPCION CERRAR VENTANA

META: *USAR-METODO-F4*

PRESIONAR TECLA F4]

El método GOMS ha servido de base para muchos otros y ha sido sustento importante para métodos que se han dedicado al análisis de tareas rutinarias por parte de los usuarios.

Los métodos ejemplificados ilustran la manera en que se puede analizar sistemáticamente una serie de tareas que componen a una actividad humana. De esta manera es posible tomar en cuenta las características particulares de cada tarea para que un sistema interactivo le brinde el soporte adecuado. Es decir, el diseño de un sistema interactivo puede tomar como base las características no sólo de la tarea sino las particularidades del ser humano permitiendo que la persona sea efectiva al realizar la tarea al interactuar con dicho sistema.

6.3. Diseño centrado en el humano

El Diseño Centrado en el Humano (DCH) tiene por objetivo diseñar productos interactivos que sean fáciles de usar, efectivos en su uso y con una experiencia de uso que se disfrute, así como optimizar las interacciones de un usuario con un sistema y su ambiente o producto. El DCH se enfoca en entender el espacio del problema para proponer tecnología innovadora

y potencialmente disruptiva.¹⁴ En contraste con la Ingeniería de Software,¹⁵ donde los requerimientos de un programa de software se obtienen mediante entrevistas con el usuario y se especifican en un documento con carácter de contrato entre el desarrollador y el cliente, el DCH enfatiza involucrar a los usuarios potenciales en el proceso de diseño para ayudarlos a establecer requerimientos que de otra manera serían muy difíciles de identificar.

A menudo los usuarios no saben lo que quieren y les es difícil concebir un sistema innovador que facilite sus tareas. Por lo mismo el DCH apoya a los diseñadores a entender mejor las necesidades y problemas de los usuarios y a establecer sus requerimientos reflexionando sobre las estrategias actuales (las prácticas y herramientas del usuario en el espacio del problema). De manera formal el DCH se define como:

- El diseño de productos interactivos que apoyan la manera en que las personas se comunican e interactúan en su vida diaria.¹⁶
- El diseño de espacios para la comunicación e interacción humana.¹⁷

Sin embargo, diseñar productos usables y con una buena experiencia de usuario no es tarea fácil. Por ejemplo, los buzones de voz 01 800 de atención a cliente son generalmente ineficientes y frustrantes. Más aún, con frecuencia se encuentran diseños que a pesar de ser útiles presentan otro tipo de problemas y que, desafortunadamente, se utilizan en la vida cotidiana. En este rubro hay diseños útiles pero socialmente inaceptables como los llamados “chindogu” en Japón.¹⁸ Estos diseños existen principalmente porque los diseñadores de

¹⁴ Rogers, Y. (2011). **Interaction design gone wild: striving for wild theory.** *Interactions* 18, 4:58–62.

¹⁵ Ver Capítulo 7 de Ingeniería de Software

¹⁶ Preece, J., Sharp, H., Rogers, Y., (2001). **Interaction design: Beyond human-computer interaction.** *Univ. Access Inf. Soc.* 3, 3:289–289.

¹⁷ Winograd, T. (1997) **From computing machinery to interaction design.** En P. Denning and R. Metcalfe (Eds.) *Beyond Calculation: the Next Fifty Years of Computing.* Amsterdam: Springer-Verlag, pp. 149-162.

¹⁸ Como los mamelucos con cerdas inspirados en el gateo diseñados en Japón, que le

sistemas no se preocupan por las interacciones ni por la interfaz de usuario, sino que se centran en la funcionalidad del sistema y los algoritmos necesarios para la optimización de los recursos computacionales.

Los diseños de sistemas interactivos de baja calidad que se utilizan en la actualidad son frustrantes, confusos e ineficientes, pero un mal diseño puede tener consecuencias aún más graves. Por ejemplo, existen reportes de muertes a raíz del mal uso de un equipo de radiación que utilizaba como entrada una serie de comandos complejos y confusos: “un mal diseño te puede matar”.¹⁹ La forma de interacción basada en escribir comandos desde una consola provocó que la computadora se percibiera como un dispositivo difícil de operar e incluso dio lugar a una cultura de los “gurús” que memorizaban la mayoría de los comandos de un sistema operativo. Sin embargo, en los últimos años se han propuesto nuevos dispositivos que buscan imitar cómo los humanos interactúan con el mundo real utilizando interfaces naturales.

A pesar de esto, el modelo de interacción más popular y al que estamos más acostumbrados continúa siendo el ratón-teclado-monitor. Sin embargo, este modelo frecuentemente inhibe nuestras capacidades de interacción innatas.²⁰ Por ejemplo, el ratón es un dispositivo que provee solo 2 grados de libertad, lo cual resulta marginal si se compara con los 23 grados que tenemos en nuestros dedos. A pesar de que el ratón fue una invención revolucionaria y de que es un buen dispositivo de entrada no es el más natural. Aunque muchos lo encuentran fácil de usar, requiere de aprendizaje y muchas personas se sienten desorientadas cuando lo utilizan por primera vez —principalmente niños, adultos mayores o individuos con capacidades diferentes y con el sistema motor comprometido. Es por ello que una área importante de estudio en IHC consiste en entender el espacio de diseño de diferentes productos y proponer nuevos diseños potencialmente disruptivos pero útiles y con una buena

permiten a un bebé trapear el piso mientras gatea <http://www.chindogu.com/>

¹⁹ <https://www.nngroup.com/articles/medical-usability/>; <http://www.nbcnews.com/id/28655104/>

²⁰ Malizia, A., Bellucci, A. (2012). **The artificiality of natural user interfaces.** *Communication of the ACM* 55(3):36–38.

experiencia de uso. La investigación en México se ha abocado a entender el espacio de diseño de sistemas interactivos en contextos específicos: adultos mayores,²¹ personal hospitalario,²² comunidades rurales,²³ trabajadores de la información²⁴ y niños con autismo.²⁵

Por estas razones en la actualidad los diseñadores de sistemas se preocupan por la interfaz y la interacción permitiendo la evolución de la IHC. Como consecuencia, el DCH se ha convertido en un gran negocio. En particular, los consultores de diseño de sistemas, compañías *start up* de computación y la industria de cómputo móvil se han dado cuenta del papel crucial que el DCH juega en el desarrollo de sistemas. La interacción ha logrado ser un excelente diferenciador para destacar en un campo altamente competitivo. Un ejemplo claro fue la aparición del *iPod* cuya forma de interacción novedosa e intuitiva logró eliminar a su competencia del mercado.²⁶ Esto subraya que la interacción debe de ser el centro del diseño de sistemas y no un aspecto secundario. El poder decir que el producto es “fácil de utilizar, efectivo en su uso y con una experiencia de uso que se disfrute” se ha convertido en el slogan oficial de las compañías de desarrollo de sistemas.

²¹ Navarro, R. N., Rodríguez, M. D., Favela, J. (2016). **Use and Adoption of an Assisted Cognition System to Support Therapies for People with Dementia.** *Comp. Math. Methods in Medicine*. doi: 10.1155/2016/1075191

²² Muñoz, M.A., Rodríguez, M., Favela, J., Martínez-García, A. I., González, V.M. (2003). **Context-Aware Mobile Communication in Hospitals.** *Computer* 36(9):38–46.

²³ Moreno, M. A., Martínez, C.A. (2014). **Designing for sustainable development in a remote Mexican community.** *Interactions* 21:76-79.

²⁴ González, V.M., Mark, G. 2004. **Constant, constant, multi-tasking craziness”: managing multiple working spheres.** En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI '04). ACM, New York, NY, USA, pp. 113-120.

²⁵ Tentori, M., Escobedo, L., Balderas, G. (2015). **A Smart Environment for Children with Autism.** *IEEE Pervasive Computing* 4(2):42-50.

²⁶ <http://gizmodo.com/5671670/sony-kills-the-cassette-walkman-on-the-ipods-birthday>

6.3.1. Principios básicos de diseño de interacción

La literatura en DCH ha propuesto abstracciones acerca de diferentes aspectos del diseño que se conocen como “principios de diseño”. Éstos funcionan como guías de lo que se debe y no se debe hacer al diseñar un sistema. Los principios de diseño se derivan de una mezcla de teorías basadas en conocimiento, experiencia de uso y sentido común. Si bien existen muchos principios específicos para una población en particular, de manera general, los principios básicos del diseño de interacción son los siguientes:²⁷

- **Visibilidad.** Hacer visibles las interacciones de los humanos con la computadora en la medida de lo posible. Mientras más visibles sean las funciones, más probable será que los humanos realicen la acción apropiada. En contraste, cuando las funciones estén fuera del campo visual más difícil será imaginar cómo se puede utilizar el producto. La investigación en DCH en México se ha enfocado en proponer una visibilidad adecuada al diseñar interfaces para la comprensión de grandes volúmenes de información²⁸ así como para videojuegos basados en movimiento, kioskos y superficies interactivas.²⁹ Por ejemplo, FroggyBobby³⁰ es un videojuego serio basado en movimiento donde los niños utilizan sus brazos para controlar la lengua de una rana y ayudarlo a comer moscas. El juego utiliza instrucciones claras y cortas, y mini-películas que funcionan como una especie de tutorial. Además, la interfaz del juego muestra dos boto-

²⁷ Norman, D. A. **The design of everyday things: Revised and expanded edition**, New York; Basic Books; London: MIT Press (British Isles only), 2013.

²⁸ Sánchez, J. A. (2013). **Understanding collections and their implicit structures through information visualization**. En *Innovative Approaches of Data Visualization and Visual Analytics*. Huang, M. L., Huang, W. (eds.). Information Science Reference, 151-175.

²⁹ <http://www.edis.mx/>

³⁰ Caro, K., Tentori, M, Martinez-Garcia, A. I., Zavala-Ibarra, I. (2015) **FroggyBobby: An exergame to support children with motor problems practicing motor coordination exercises during therapeutic interventions**. *Computers in Human Behavior*. doi: 10.1016/j.chb.2015.05.055

nes que indican dónde inicia y termina el movimiento, y el patrón de vuelo de las moscas les proporciona a los niños una guía visual del tipo de movimiento que el niño debe de practicar. También se han realizado estudios desde una perspectiva teórica para clasificar la experiencia de usuario en el diseño de la interacción basada en movimiento.³¹

- **Retroalimentación.** Proporcionar al usuario información inmediata acerca de la acción que se está ejecutando o que se acaba de ejecutar. En DCH existen diferentes tipos de retroalimentación que involucran el uso de sonidos, animaciones, vibraciones y combinaciones de dichos estímulos sensoriales. La retroalimentación adecuada puede también proporcionar una buena visibilidad del producto. Para apreciar la importancia de este principio se puede imaginar tratar de partir un pan utilizando un cuchillo sin ver cómo se corta o escribir utilizando una pluma sin ver el papel. Las primeras interfaces de usuario desarrolladas en México enfocadas a proponer una buena retroalimentación involucraron el diseño de sistemas colaborativos de acuerdo a la filosofía de “lo que yo veo es lo que tú ves” en especial para la edición colaborativa³² de documentos o la programación en pares.³³ Recientemente se ha explorado el uso de otros estímulos sensoriales como la háptica para proporcionar retroalimentación vibro táctil durante las terapias de rehabilitación.³⁴

³¹ Cruz Mendoza, R., Bianchi-Berthouze, N., Romero, P., Casillas Lavín, G. (2015). **A classification of user experience frameworks for movement-based interaction design.** *The Design Journal* 18:393-420. doi: 10.1080/14606925.2015.1059606

³² Morán, A. L., Favela, J., Martínez, A. M., Decouchant, D. (2001). **Document Presence Notification Services for Collaborative Writing.** *CRIWG 2001*, pp. 125-135.

³³ Vizcaíno, A., Contreras-Castillo, J., Favela, J., Prieto, M. (2000). **An Adaptive, Collaborative Environment to Develop Good Habits in Programming.** *Intelligent Tutoring Systems 2000*:262-271.

³⁴ Ramírez-Fernández C. et al. (2016) **GoodVybesConnect: A Real-Time Haptic Enhanced Tele-Rehabilitation System for Massage Therapy.** En García C., Caballero-Gil P., Burmester M., Quesada-Arencibia A. (eds) *Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence. (UCAmI 2016)*. Lecture Notes in Computer Science, Vol 10069. Springer.

- **Restricciones.** Limitar los caminos o las opciones que los usuarios pueden elegir al ejecutar una acción. Ejemplo, sombrear opciones del menú que no se permiten al utilizar un procesador de texto. Proveer restricciones adecuadas previene la selección de opciones incorrectas y reduce la posibilidad de cometer errores. En México este principio de diseño se ha explorado mayormente para el diseño de objetos tangibles³⁵ y prótesis de brazos,³⁶ y ha permitido la organización de recursos computacionales en términos de actividades. Por ejemplo, el Malabarista de Esferas³⁷ es un sistema que permite asociar documentos, aplicaciones y contactos a una esfera de trabajo que representa una actividad. De esta manera todos los recursos digitales se restringen a lo que es relevante a la esfera de trabajo que el usuario seleccione.
- **Consistencia.** Utilizar operaciones o elementos similares para tareas similares. Por ejemplo, el uso de *shortcuts* del teclado como ctrl+C o ctrl+Z independientemente del sistema operativo. La consistencia permite que los sistemas sean más fáciles de utilizar porque los usuarios deben de aprender un sólo camino aplicable a varios objetos. En México, se ha explorado el concepto de consistencia al diseñar sistemas de sensado para la recolección de datos de comportamiento utilizando teléfonos celulares.³⁸ Por ejemplo, InCense³⁹ es una herra-

³⁵ Escobedo, L., Ibarra, C., Hernandez, J., Alvelais, M., and Tentori, M. (2013) **Smart objects to support the discrimination training of children with autism.** *Personal and Ubiquitous Computing* (PUC), 18(6):1485-1497.

³⁶ Cruz, K., Cornejo, R., Martinez, F. **Human-Computer Interaction: Anthropomorphic prosthetics using EMG signals.** *Memorias extendidas de MexIHC 2016.* Colima, Mexico. Septiembre 2016.

³⁷ Morteo, R., González, V. M., Favela, J., Mark, G., **Sphere Juggler: Fast Context Retrieval in Support of Working Spheres.** *ENC 2004*, pp. 361–367.

³⁸ Castro, L. A., Favela, J., Quintana, E., Pérez, M. **Behavioral data gathering for assessing functional status and health in older adults using mobile phones.** *Personal and Ubiquitous Computing* 19(2): 379–391 (2015)

³⁹ Perez, M., Castro, L., Favela, J. (2011). **InCense: A research kit to facilitate behavioral data gathering from populations of mobile phone users.** En *5th International Symposium of Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence* (UCAml 2011), Riviera Maya, Mexico. Dec. pp 5-9.

mienta que permite a los usuarios con bajas habilidades técnicas diseñar campañas de sensado a través de una interfaz que incluye los sensores disponibles en un celular, como el GPS, el acelerómetro, los actuadores y las encuestas. Estos elementos se representan mediante íconos que son consistentes con la nomenclatura que se utiliza en los diagramas de flujo; además se utilizan “estándares” para los algoritmos y mecanismos de almacenamiento de datos para facilitar su integración con otras herramientas de sensado como Funf (Behav.io).⁴⁰

- **Asequibilidad.**⁴¹ Indicar o dar pistas acerca de las acciones que se pueden realizar sobre un objeto. Por ejemplo, un ícono debe de invitar a presionarlo, una barra de desplazamiento (*scroll*) debe invitar a moverla hacia arriba o hacia abajo y los botones deben invitar a presionarlos. Este principio de diseño se ha utilizado mayormente en el diseño de objetos físicos ya que el mapeo es natural e involucra el uso de metáforas basadas en interacciones reales. Por ejemplo, para persuadir a los trabajadores de la información a llevar una vida menos sedentaria se diseñó un ratón, inspirado en el mecanismo de defensa del puercoespín, que saca picos de manera gradual hasta imposibilitar que el usuario continúe trabajando y tenga forzosamente que levantarse. Pocas investigaciones en México e incluso en el extranjero han estudiado este concepto debido, principalmente, a que encontrar características únicas de los objetos no es fácil y generalmente las metáforas del mundo real son poco mapeables a servicios digitales.

6.3.2. Proceso de diseño de interacción

El proceso de DCH es altamente empírico lo cual permite a los diseñadores tomar decisiones basadas en el conocimiento que se tiene de los usuarios y del contexto en el que se utilizará el producto. Durante este proceso se debe escuchar qué quieren los usuarios, tomar en cuenta sus habilidades y consi-

⁴⁰ <http://www.funf.org>

⁴¹ Traducción al español del concepto de *affordances*

derar qué los puede ayudar a mejorar la forma como realizan sus tareas. De manera general, el proceso de diseño involucra cuatro actividades.

1. *Identificar las necesidades y establecer los requerimientos para la experiencia de usuario.* Esto se realiza mediante estudios empíricos que involucran entrevistas con los usuarios, observar sus interacciones en su práctica diaria y aplicar encuestas para verificar la representatividad de los datos. La información recabada se representa en modelos conceptuales y en narrativas que describen las necesidades, estrategias y metas de los usuarios potenciales.
2. *Desarrollar diseños alternativos que satisfagan los requerimientos.* Se proponen alternativas de diseño tomando en cuenta los datos empíricos. Estas ideas iniciales se plasman generalmente en bosquejos en papel para discutirse con los usuarios potenciales. Durante esta etapa los diseñadores y los usuarios reflexionan sobre las ventajas y desventajas de cada alternativa y seleccionan la idea que mejor satisfaga sus necesidades.
3. *Construir versiones interactivas de los diseños para ser comunicados y evaluados.* Se especifica el diseño mediante la creación de escenarios de uso que muestren cómo el producto se utilizará en la práctica y se construyen prototipos a diferentes niveles de fidelidad, los cuales permiten al usuario final “interactuar” con diferentes versiones del diseño e imaginar su uso en la práctica y en escenarios concretos.
4. *Evaluar el prototipo a través del proceso y la experiencia de usuario.* Finalmente, se evalúa la usabilidad y experiencia de uso del prototipo. Generalmente se utilizan técnicas cualitativas para realizar estudios exploratorios evaluados en el campo o técnicas cuantitativas que involucran la realización de experimentos en laboratorios de usabilidad, como se describe más adelante en la sección 6.3.4.

Existen diferentes ciclos de vida que indican el orden de estas actividades y cómo se relacionan unas con otras. Los más comúnmente utilizados son dirigidos por modelos conceptuales y son altamente iterativos o secuenciales. Por ejemplo, el modelo simple de DCH consta de las cuatro actividades antes mencionadas, las cuales se pueden visualizar como los nodos de un grafo completo cuyo estado inicial es la actividad 1 (establecer los requerimientos). Las actividades se realizan iterativamente tantas veces como sea necesario. En contraste, el diseño contextual rápido⁴² propone pasos que se realizan de manera secuencial. Los primeros cuatro ayudan al diseñador a entender mejor el espacio del problema, las necesidades de los usuarios finales y el contexto de uso del sistema, mientras que los últimos tres involucran las propuestas de alternativas de diseño, su especificación mediante escenarios y el desarrollo de prototipos a diferentes niveles de fidelidad que se discuten con los usuarios potenciales (2, 3 y 4). Los investigadores mexicanos siguen estos ciclos pero, además, en nuestro país se propuso una metodología conocida como “de la guitarra”,^{43,44} en la que cada ciclo de vida se dirige por escenarios de uso y por una comprensión inicial de la literatura.

Una vez que se tiene el diseño del sistema interactivo se busca identificar la tecnología más adecuada para realizarlo. Para este efecto se han propuesto diferentes tecnologías y modelos de interacción que facilitan la implementación de prototipos robustos. A continuación se describen los avances de IHC en esta dirección.

⁴² Holtzblatt, K.; Wendell, J., Woods, S. **Rapid Contextual Design: A How-to Guide to Key Techniques for User-Centered Design**, Morgan-Kaufmann, San Francisco, 2005.

⁴³ Muñoz, M. A., González, V.M., Rodríguez, M., Favela, J. **Supporting Context-Aware Collaboration in a Hospital: An Ethnographic Informed Design**. *CRIWG 2003*: 330-344.

⁴⁴ Martínez-García, A. I., Tentori, M., Rodríguez, M. (2015) **Aplicaciones Interactivas para Salud**. En, Muñoz Arteaga, J., González-Calleros, M., Sánchez, A. (Eds). *La Interacción Humano-Computadora en México*, Pearson Educación, México.

6.3.3. Tecnologías y modelos de interacción

Identificar cuál es el modelo de interacción apropiado del producto o sistema involucra visualizar su funcionalidad tomando en cuenta las necesidades y habilidades de los usuarios, el contexto de uso y los requerimientos del producto. Para lograrlo es necesario tomar decisiones sobre.^{45,46}

- **El modo de interacción.** Determina las actividades de interacción que el usuario podrá realizar para comunicarse con el sistema y viceversa. Los principales modos de interacción son i) instruir, ii) conversar, iii) manipular y navegar, y iv) explorar.
- **El estilo de la interfaz.** Define la apariencia (*look*) y el comportamiento (*feel*) de la interfaz de usuario. Se toma en cuenta el modo de interacción para elegir los tipos específicos de interfaces y sus componentes; por ejemplo, si se utilizará un sistema basado en menús, comandos o entrada por voz, o una combinación de éstos.
- **El paradigma de interacción.** La forma de interacción (modo de interacción y estilo de la interfaz) se implementa mediante soluciones tecnológicas concretas. Éstas a su vez, implementan paradigmas de interacción que podemos clasificar en dos tipos: i) “de escritorio” que permite interacciones explícitas mediante dispositivos como el ratón, el teclado y el monitor; y ii) paradigmas que van más allá del escritorio, tal como la realidad virtual, los robots, el cómputo vestible, el cómputo tangible, los visualizadores ambientales y la realidad aumentada. Estos últimos utilizan tecnologías que permiten una interacción natural e implícita, tal como cámaras y sensores inerciales que implementan nuevos estilos de interacción basados en gestos, movimientos y posturas del cuerpo.

⁴⁵ Preece, J., Rogers, Y., Sharp, H. **Interaction Design: Beyond Human Computer Interaction**, John Wiley and Sons, Inc., 2002.

⁴⁶ Stone, D., Jarrett, C., Wodroffe, M., Minocha, S. **User Interface Design and Evaluation**, Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier, 2005.

Las decisiones sobre el modo de interacción son de más alto nivel de abstracción que las realizadas para seleccionar el estilo de la interfaz, ya que las primeras determinan la naturaleza de las actividades del usuario que serán apoyadas, mientras que las segundas se refieren a la selección de tipos específicos de interfaces de usuario. Por otro lado, seleccionar desde un principio el paradigma de interacción ayuda a informar el diseño conceptual del sistema interactivo ya que influye en la selección de los modos y estilos de interacción. A continuación se describen los cuatro modos de interacción más comunes. Se describe cómo diversas soluciones tecnológicas ayudan a implementarlos siguiendo alguno de los paradigmas de interacción mencionados:

Instruir. El usuario indica al sistema lo que debe hacer. Por ejemplo es cuando el usuario da instrucciones al sistema para que almacene, borre o imprima un archivo. Este modo de interacción no sólo ha evolucionado sino que también varía dependiendo del paradigma de interacción y el estilo de la interfaz. Así, la interacción con la computadora personal mediante sistemas basados en comandos (ej., DOS, UNIX) cambió al incluir sistemas basados en interfaces de usuario gráficas que reciben instrucciones mediante teclas de control o menú de opciones, hasta sistemas que reciben instrucciones mediante reconocimiento de voz y gestos en 2-D y 3-D, lo cual no sólo ha simplificado este modo de interacción sino también ha facilitado la accesibilidad de los dispositivos computacionales por quienes padecen alguna discapacidad. Por ejemplo, Google Assistant⁴⁷ y Siri⁴⁸ se han utilizado por invidentes y débiles visuales para dar instrucciones mediante voz a las aplicaciones de sus dispositivos móviles (ej., “llama a José”, “cerrar Facebook”).⁴⁹

Conversar. El usuario y el sistema mantienen un diálogo, posiblemente en lenguaje natural. En este modo el sistema actúa más como un compañero que como una máquina que obedece órdenes; es útil en aplicaciones en que

⁴⁷ <https://assistant.google.com/>

⁴⁸ Apple Inc., Siri. <http://www.apple.com/ios/siri/>

⁴⁹ Wong, M. E., Tan, S. S. (2012). **Teaching the benefits of smart phone technology to blind consumers: Exploring the potential of the iPhone.** *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 106(10): 646.

el usuario necesita encontrar algún tipo específico de información o discutir algún aspecto de la misma, como en los sistemas tutores, las máquinas de búsqueda y los sistemas de ayuda. Desde los años sesenta del siglo pasado se mostró que es posible construir sistemas de diálogo con modelos muy simples de la conversación⁵⁰ y actualmente podemos encontrar sistemas llamados *chatbot*, capaces de aprender de su entorno para entablar conversaciones informales, tal como el chatbot Tay diseñado para conversar por Twitter con los jóvenes y que con base al contexto de la conversación responde de forma agradable o agresiva.⁵¹ Los agentes inteligentes de software también se han utilizado para implementar nuevos paradigmas de interacción.⁵² De esta línea surgieron los Agentes Relacionales⁵³ que se diseñan para construir relaciones socio-emocionales con las personas emulando la interacción cara a cara. Los agentes no sólo hablan al conversar sino también emiten gestos y expresiones faciales con el fin de generar empatía con el humano. El beneficio principal de esta interacción es que permite a las personas (especialmente a los novatos) interactuar con el sistema de una forma que les resulta familiar, pero existe el riesgo de que el sistema no responda como el humano espera, lo confunda y en consecuencia se interrumpa la conversación.⁵⁴

En México, se ha investigado sobre modelos cognitivos de la IHC que incluyen protocolos para que aplicaciones como sistemas de diálogo y robots de servicio puedan comprender el contexto y entablar conversaciones con los humanos, tal como el robot de servicio Golem.⁵⁵

⁵⁰ Weizenbaum, J. **Computer Power and Human Reason: From Judgment to Calculation**. New York: W.H. Freeman and Company. pp. 2,3,6,182,189, 1976. Ver también el capítulo de Lingüística Computacional en este texto.

⁵¹ Hope Reese. **Why Microsoft's 'Tay' AI bot went wrong**. *Tech Republic* (24 de marzo de 2016). Ver capítulo 3.

⁵² Ver el Capítulo 1 de este texto.

⁵³ <http://relationalagents.com>

⁵⁴ Cafaro, A., Vilhjálmsón, H. H., Bickmore, T. (2016). **First Impressions in Human-Agent Virtual Encounters**. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 23(4), Art. 24 (August 2016).

⁵⁵ Pineda, L. A. et al. (2008). **Specification and Interpretation of Multimodal Dialogue Models for Human-Robot Interaction**. En *Artificial Intelligence for Humans: Service Robots and Social Modeling*, G. Sidorov (Ed.), SMIA, México pp 33-50. Ver también capítulos 3 y 4.

Por otro lado se ha investigado el efecto que tiene este modo de interacción en los humanos y se ha evaluado cómo los agentes de software representados como avatares logran comunicar emociones mediante expresiones faciales.⁵⁶ De manera similar la evaluación del avatar EMI, desarrollado para asistir a una comunidad de Oaxaca a elegir rutas de transporte rápidas y seguras, mostró que personas analfabetas se beneficiaron al acceder a esta información fácilmente.⁵⁷

Manipular y navegar. El usuario manipula objetos y navega a través de espacios virtuales utilizando su propio conocimiento sobre el mundo físico. Por ejemplo, para mover, seleccionar, abrir, cerrar y aumentar⁵⁸ objetos virtuales. La manipulación directa (MD)⁵⁹ es un estilo de interacción en que los usuarios actúan sobre los objetos mostrados utilizando acciones físicas que tienen un efecto visible e inmediato en la pantalla. Éste es uno de los conceptos centrales de las GUIs y esta tecnología permitió capitalizar la comprensión de lo que sucede con los objetos físicos del mundo real, ya que las acciones físicas de los usuarios se emulan por el sistema mediante pistas auditivas y visuales, como cuando se arrastra un archivo al ícono de la basura. La primera compañía en diseñar un sistema basado en GUIs fue Xerox PARC.⁶⁰ Posteriormente surgieron otros paradigmas tecnológicos que ayudan a implementar este modo de interacción, como la realidad virtual, en la que los usuarios interactúan y navegan por un mundo físico simulado en 3-D y las aplicaciones del cómputo ubicuo, en las que se interactúa con objetos físicos aumentados digitalmente, los cuales se integran de forma natural a las actividades del usuario.

⁵⁶ Sánchez, J. A., Medina, P., Starostenko, O., Cervantes, O., Wan, W. (2014). **Affordable development of animated avatars for conveying emotion in intelligent environments. Ambient Intelligence and Smart Environments. 2nd International Workshop on Applications of Affective Computing in Intelligent Environments**, Shanghai, China, pp. 80-91. Disponible en <http://www.ebooks.iospress.nl/volumearticle/36664>.

⁵⁷ Banos, T., Aquino, E., Sernas, F., Lopez, Y., Mendoza, R. (2007). **EMI: a system to improve and promote the use of public transportation. CHI '07 extended abstracts on Human factors in computing systems**, pp. 2037-2042. New York, NY, USA, ACM.

⁵⁸ para visualizar su información/contenido.

⁵⁹ <https://www.nngroup.com/articles/direct-manipulation/>

⁶⁰ <https://www.parc.com/>

México se ha destacado por el desarrollo de aplicaciones de cómputo ubicuo para asistir a personas con capacidades diferentes. Por ejemplo, el Visualizador Ambiental para la Medicación,⁶¹ despliega pictogramas para indicarle al adulto mayor si tomó el medicamento correcto, lo que se detecta mediante sensores pasivos (NFC).⁶² También se han desarrollado tecnologías ambientales para fomentar el envejecimiento activo, las cuales promueven la interacción basada en gestos o movimientos del cuerpo para manipular los elementos de un juego, tal como en los juegos de Kinect.⁶³ En esta línea se desarrolló un dispositivo de interacción para detectar la fuerza de agarre de la mano, que se interpreta como un parámetro de la acción a ejecutar; por ejemplo, la fuerza que se aplica al golpear una bola de billar o al lanzar a un pájaro en el popular juego “Angry Birds”.⁶⁴ Adicionalmente, se ha favorecido la rehabilitación física de adultos mayores con enfermedad cerebrovascular mediante videojuegos que proveen retroalimentación háptica acerca de los movimientos realizados con la mano.⁶⁵ Por otro lado, se ha investigado cómo potenciar la integración social de personas con autismo dándoles apoyo visual durante interacciones cara a cara. Por ejemplo, MOSOCO es un sistema de realidad aumentada que utiliza el teléfono móvil para proporcionar pistas visuales que guíen al niño con autismo durante su interacción social con niños neuro-típicos.⁶⁶ Además, se ha evaluado el potencial de los lentes inteligentes (como Google Glass) para dar retroalimentación visual

⁶¹ Zárata-Bravo, E., García-Vázquez, J. P., Rodríguez, M. D. (2015). **An Ambient Medication Display to Heighten the Peace of Mind of Family Caregivers of Older Adults: A Study of Feasibility.** *MindCare* 2015:274–283.

⁶² <http://nearfieldcommunication.org/>

⁶³ <http://www.xbox.com/>

⁶⁴ Zavala-Ibarra, I; Favela, J. (2012). **Ambient Videogames for Health Monitoring in Older Adults.** *8th International Conference on Intelligent Environments (IE)*, 2012, pp. 27–33.

⁶⁵ Ramirez-Fernandez, C., García-Canseco, E., Morán, A. L., Orihuela-Espina, F. (2014). **Design Principles for Hapto-Virtual Rehabilitation Environments: Effects on Effectiveness of Fine Motor Hand Therapy.** *REHAB 2014*, pp. 270–284.

⁶⁶ Escobedo, L., Nguyen, D. H., Boyd, L. E., Hirano, S., Rangel, A., Garcia-Rosas, D., Tentori, M., Hayes, G. (2012). **MOSOCO: A Mobile Assistive Tool to Support Children with Autism Practicing Social Skills in Real-Life Situations.** *In ACM Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2589–2598.

que ayude a adultos con autismo a regular las alteraciones en la entonación y el ritmo del lenguaje.⁶⁷

Explorar. En este modo las personas pueden buscar y explorar información conforme se la presenta el sistema, tal como cuando se hojea una revista o se sintoniza la radio. Las páginas Web y portales de venta de productos aplican este modo de interacción. Este modo se ha utilizado también en Sistemas Colaborativos, por ejemplo, PIÑAS es un sistema que facilita que una comunidad de co-autores distribuidos utilicen la Web para colaborar en la edición de documentos compartidos. El sistema permite resaltar las secciones modificadas, indicar quién y cuándo las modificó y de esta forma dar conciencia sobre las actividades de edición que realiza el grupo así como facilitar la exploración del documento.⁶⁸ También se han utilizado mecanismos de conciencia de colaboración para apoyar la programación por pares distribuidos en diferentes localidades y facilitar la exploración del código.⁶⁹ En esta línea el concepto de “Esferas de Trabajo” explica la forma inherente en que las personas organizan “unidades de trabajo”; éstas involucran el manejo de diversos recursos informativos (ej. documentos, aplicaciones, correos, etc.), además de que pueden fragmentarse —dado que las personas suelen cambiar de una tarea (unidad de trabajo) a otra. Lo anterior motivó el desarrollo de un sistema que incluye mecanismos que ayudan a identificar las esferas de trabajo activas y explorar los recursos que contienen.⁷⁰

⁶⁷ Boyd, L. E., Rangel, A., Tomimbang, H., Conejo-Toledo, A., Patel, K., Tentori, M., Hayes, G. (2016). **SayWAT: Augmenting Face-to-Face Conversations for Adults with Autism.** In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*. ACM, New York, NY, USA, pp. 4872–4883.

⁶⁸ Morán, A. L., Decouchant, D., Favela, J., Martínez Enríquez, A. M., González-Beltrán, B., Mendoza, S. **PIÑAS: Supporting a Community of Co-authors on the Web.** *DCW 2002*, pp. 113–124.

⁶⁹ Morán, A. L., Favela, J., Romero, R., Natsu, H., Pérez, C. B., Robles, O., Martínez Enríquez, A. M. (2008). **Potential and Actual Collaboration Support for Distributed Pair-Programming.** *Computación y Sistemas* 11(3).

⁷⁰ González, V. M., Gloria Mark, G. **“Constant, constant, multi-tasking craziness”: managing multiple working spheres.** *CHI 2004*, pp. 113–120.

6.3.4. Evaluación

Hasta mediados de los años ochenta la investigación en IHC, como en otras áreas de la computación, tenía una orientación ingenieril o de construcción (*build methodology*) en la que se proponían nuevos dispositivos de entrada o salida, sistemas, o nuevos modos de interacción; en esta época la evaluación se reducía a probar la funcionalidad, lo que era suficiente para que el trabajo fuese publicable. Sin embargo, gradualmente fue permeando en la comunidad la necesidad de aportar mayor evidencia de que el dispositivo o técnica propuesta fuese, además de factible, efectiva, eficiente y/o usable. Hoy en día, tanto en la investigación, como en la práctica profesional en IHC, el uso de técnicas de evaluación es una constante cuya competencia es indispensable en la currícula de un profesional del área.

La evaluación del trabajo en IHC ha contribuido a la formación de un cuerpo de conocimiento en el área. Evaluar la interacción entre el humano y la computadora permite generalizar resultados y establecer principios de diseño generales. También da pie a la creación de teorías del comportamiento humano relevantes a su interacción con tecnologías de información. Teorías que permiten explicar o predecir el resultado de dichas interacciones; por ejemplo, para entender por qué la voz puede resultar adecuada para interactuar con el dispositivo de navegación GPS de un automóvil, pero no en un ambiente de oficina en el que se encuentran otras personas. Evaluar también permite probar ideas, visiones o hipótesis. Operar los aparatos electrodomésticos en un hogar por medio de gestos puede parecer una idea interesante, pero si hacer el gesto toma más tiempo o genera más errores que presionar el botón del dispositivo puede no resultar práctico. Sólo por medio de la evaluación es posible responder con precisión a estas preguntas. Finalmente, resultados de evaluación en IHC han ayudado a establecer principios y guías de diseño que permiten a profesionales del área diseñar nuevas aplicaciones utilizando las mejores prácticas sin tener que recurrir a prueba y error.

Las técnicas de evaluación en IHC pueden utilizarse en distintas tareas. Durante el desarrollo de sistemas se pueden utilizar para entender a los usuarios potenciales así como las tareas que realizan. El diseño de un sistema que será utilizado por un médico, un controlador aéreo o un estudiante de primaria debe tomar en cuenta las capacidades y limitaciones de cada tipo de usuario. Por ejemplo, si se tiene atención dividida por estar realizando varias tareas a la vez, si se tiene que tomar decisiones en poco tiempo o si se requiere una explicación detallada. Además de los usuarios directos, otros individuos pueden verse afectados por la interacción con el sistema, como un estudio de uso de expediente electrónico que fue evaluado positivamente por los médicos; sin embargo, los pacientes percibían que la calidad de la consulta se veía afectada por el tiempo que el médico dedicaba a la computadora, lo que interpretaban como falta de interés del médico sobre su caso.

La evaluación se puede hacer al inicio del proyecto, durante la etapa de diseño y/o una vez que se concluye el sistema. En el primer caso el propósito es concebir al sistema o informar su diseño; en el segundo obtener retroalimentación temprana acerca del diseño, incluso con prototipos de baja fidelidad, como dibujos o maquetas no funcionales; también se pueden utilizar otras técnicas con prototipos más avanzados para identificar problemas concretos de usabilidad. Finalmente, después de liberado un sistema se pueden hacer pruebas de aceptación e identificar recomendaciones de cambios a realizar en una segunda versión.

Los estudios de usuarios también se pueden utilizar para identificar problemas en la forma en que un individuo realiza una tarea, ya sea con o sin el apoyo de un sistema computacional. En el primer caso pueden ayudar a diseñar un mejor sistema y en el segundo se abre la oportunidad de desarrollar nuevos sistemas para apoyar la tarea. Evaluar un sistema en uso permite identificar las fuentes comunes de errores y las operaciones que demandan más tiempo al usuario, de manera que un rediseño de la interface permita hacer más eficiente su uso.

En investigación en IHC la evaluación permite probar hipótesis y descubrir principios generales de diseño. Los avances vertiginosos en nuevas formas de interacción dan origen a nuevas preguntas de investigación y a plantear constantemente nuevas hipótesis. Algunas de estas preguntas son cómo se debe dar retroalimentación por voz a un robot de servicio —para facilitar su aceptación— cuando no entiende el comando que recibe; qué capacidad tiene el ser humano de distinguir distintos patrones de vibración producidos por un reloj inteligente de manera que pueda asociarlos a la persona que lo llama; cómo perciben terceros los riesgos a su privacidad cuando un individuo utiliza unos lentes inteligentes que son capaces de tomar fotografías de su entorno; o qué estrategia de comunicación debe adoptar un agente inteligente para motivar a un individuo a cambiar de comportamiento, por ejemplo, para que deje de fumar.

En IHC se han desarrollado y adaptado distintas técnicas de evaluación usadas en otras áreas de investigación. Dado que la persona es el elemento fundamental de la interacción muchas de las técnicas de evaluación en IHC tienen su origen en la psicología, la sociología y la antropología.

Las técnicas para recabar información de usuarios incluyen i) el uso de cuestionarios, ii) las entrevistas, iii) grupos focales y iv) la observación. Los cuestionarios permiten obtener información específica de muchos sujetos; las entrevistas ayudan a establecer el contexto del usuario y pueden ser estructuradas, semi-estructuradas o no-estructuradas. Estas últimas se basan en preguntas abiertas y el flujo de la conversación depende de las respuestas que da el entrevistado. La entrevista no-estructurada permite generar datos cualitativos y entender de manera más profunda el contexto de uso de la tecnología. El grupo focal, por su parte, permite recabar opiniones de un grupo de personas relacionadas con sus necesidades; es particularmente útil para encontrar puntos de coincidencia y cuando hay visiones alternativas. Finalmente, la observación permite analizar al usuario y a las tareas en el contexto en que se llevan a cabo, así como recabar información que difícilmente se

puede obtener de otra forma. Incluso es posible que el sujeto no esté consciente de ciertos aspectos de la tarea o la forma como ésta se puede mejorar; un escenario ilustrativo es el del médico que utiliza un expediente electrónico sin darse cuenta que el paciente se siente ignorado, como en el ejemplo mencionado anteriormente.

La información recabada por las diferentes técnicas se puede analizar por métodos cuantitativos o cualitativos. Los primeros se basan en el planteamiento de hipótesis derivadas de preguntas de investigación. Para probar estas hipótesis se diseñan experimentos, los cuales se llevan a cabo con la participación de usuarios (ej., mediante dos interfaces de usuario diferentes); se obtienen datos y se analizan utilizando técnicas estadísticas, notablemente, pruebas de hipótesis. Los resultados se discuten y se contrastan con la literatura y, en lo posible, se generalizan.

Un ejemplo de métodos cuantitativos es la evaluación de protocolos de asistencia a llamadas de emergencia a través de diferentes medios.⁷¹ En este estudio se compara el uso de protocolos de atención en papel con los disponibles en una aplicación desarrollada para teléfonos inteligentes en tres condiciones distintas: cuando el paciente y la enfermera que sigue el protocolo se encuentran en el mismo lugar, cuando la interacción se realiza por teléfono y cuando se hace por videoconferencia. La evaluación se realizó en condiciones controladas en laboratorio con la participación de 12 enfermeras familiarizadas con los protocolos. Para asegurar que todas las enfermeras recibieran el mismo estímulo en las distintas condiciones los pacientes fueron interpretados por actores que seguían un script al solicitar la asistencia. Las variables que se midieron en el estudio fueron el tiempo de la consulta, la ruta de navegación en el protocolo de atención, las pausas en la conversación, el número de veces en que la enfermera y el paciente hacían contacto visual (excluyendo la condición de teléfono) y la eficacia de la consulta, en

⁷¹ Castro, L. A., Favela, J., García Peña, C. (2014). **Effects of communication media choice on the quality and efficacy of emergency calls assisted by a mobile nursing protocol tool.** *CIN-Computers informatics nursing*, 32(11), 550–558.

términos de si la enfermera siguió el protocolo adecuadamente y si realizó la recomendación correcta. El estudio cuenta con dos variables independientes: Tipo de protocolo (papel o teléfono inteligente) y Medio de comunicación (presencial, teléfono y videoconferencia). El análisis se basó en una prueba de hipótesis utilizando análisis de varianza (ANOVA). Entre los resultados se encontró que en el protocolo por teléfono se cometieron menos errores de navegación, que hubo menos contacto visual en las sesiones presenciales que por videoconferencia, y que no hubo diferencia significativa entre lo adecuado de la recomendación que realiza la enfermera siguiendo el protocolo en las distintas condiciones.

Por otra parte, los métodos cualitativos se basan en el análisis de información recabada principalmente de observación y entrevistas semi-estructuradas o no-estructuradas. En contraste con los métodos cuantitativos, una evaluación cualitativa generalmente involucra a pocos sujetos. Se parte de una pregunta de investigación abierta y el análisis es de carácter exploratorio, a diferencia de las técnicas cuantitativas que buscan probar una hipótesis concreta. Las técnicas cualitativas permiten comprender de manera más amplia el problema de estudio, sin partir de un sesgo o una idea preconcebida. Asimismo, la aplicación de un método cualitativo puede generar nuevas hipótesis que den lugar a una evaluación cuantitativa posterior, lo que a su vez sugiere el uso de Métodos Mixtos que complementen las fortalezas de ambos tipos y disminuyan sus debilidades.

Los métodos cualitativos se pueden ejemplificar con un estudio sobre la percepción del envejecimiento y el uso de tecnología realizado en México.⁷² Éste consistió en una intervención en la que seis adultos mayores utilizaron cuatro paradigmas tecnológicos novedosos para ellos (un celular inteligente, un sistema de red social, un dispositivo para leer libros electrónicos y un dispositivo vestible para monitorear actividad física). Se realizaron entrevistas semi-estructuradas cada dos semanas con los participantes durante todo

⁷² Juárez, M. R., González, V. M., Favela, J. (2016). **Effect of technology on aging perception.** *Health Informatics Journal*. doi: 10.1177/1460458216661863

el estudio. El análisis de la información se realizó mediante la técnica de la “Teoría Fundamentada”. Como resultado del análisis se produjo un modelo para explicar el fenómeno del efecto del uso de la tecnología en la percepción de envejecimiento que fue comparado con otros marcos teóricos reportados en la literatura. Se encontró que el uso de la tecnología produce una serie de efectos positivos en la auto-percepción de los adultos mayores. Los informantes consideraron que los hacía sentirse más jóvenes, activos e independientes. También reportaron que percibieron el uso de tecnología como una ayuda para mantenerse socialmente activos.

Los distintos grupos que realizan investigación en IHC en México han desarrollado infraestructura para apoyar la evaluación de dispositivos y modos de interacción. Uno de los primeros esfuerzos en este sentido es el Laboratorio de Tecnologías Interactivas y Cooperativas, en la Universidad de las Américas Puebla⁷³ establecido en 1996. Destaca también el *Usability Laboratory* (UsaLab) en la Universidad Tecnológica de la Mixteca.⁷⁴ Estos laboratorios incluyen una cámara Gessel, una área de observación, una área de uso así como equipo y software especializado. Además de actividades de investigación se han utilizados para hacer evaluaciones de usabilidad en la industria. Otro caso a resaltar es el laboratorio viviente *Life at a Pie (Living at a Pervasive Interaction Environment)*.⁷⁵ Un laboratorio viviente consiste en un entorno de uso diario que tiene equipo embebido que facilita la integración y evaluación de nuevas tecnologías. *Life at a Pie* es una escuela-clínica inteligente para niños con autismo establecida en Tijuana en el 2012. Tiene por objetivo desarrollar y evaluar intervenciones innovadoras por medio de tecnología de cómputo ubicua en apoyo a los niños con autismo y al personal de la escuela. Varios salones y laboratorios de la escuela se han equipados con sensores y pantallas situadas en apoyo a intervenciones basadas en tecnología. Para gra-

⁷³ Laboratorio de Tecnologías Interactivas y Cooperativas, <http://lct.udlap.mx>

⁷⁴ Moreno Rocha, M. A., Hernández Martínez, D. (2008). **UsaLab: the experience of a usability lab from the Mexican perspective.** *BCS HCI* (2), pp. 171–172.

⁷⁵ Tentori, M., Escobedo, L. Balderas, G. L. (2015). **A Smart Environment for Children with Autism.** *IEEE Pervasive Computing* 14(2):42–50. <http://www.pasitos.org/>

bar y monitorear la conducta de los niños se utiliza un registro electrónico de comportamientos que hace posible evaluar la eficacia de las intervenciones. La integración de la tecnología en la escuela ha facilitado la participación de las maestras y los niños en el co-diseño de las tecnologías así como en su evolución.

La propuesta de nuevas técnicas de evaluación o su adecuación a nuevos entornos o circunstancias es un área de investigación activa en IHC. Un ejemplo de dicho trabajo es la propuesta metodológica llamada *Naturalistic Enactment*⁷⁶ que propone un método para la evaluación formativa de interacción en condiciones naturales, en ambientes críticos, como los de cuidado a la salud y en condiciones controladas. En esta línea se han realizado también investigaciones de carácter teórico relacionadas con la tecnología y los sistemas biológicos⁷⁷ así como el desarrollo interactivo de la conciencia social.⁷⁸

6.4. Conclusiones

Interacción Humano-Computadora es un área relativamente joven que ha tenido un gran impulso desde el nacimiento de la computación personal. A partir de entonces y derivado de un gran avance tecnológico ha tomado un papel central en el diseño de nuevos productos tecnológicos. La IHC es un área multidisciplinaria por naturaleza y es precisamente esta característica la que hace que sea interesante y ofrezca un reto a quienes trabajan en ella.

⁷⁶ Castro, L. A., Favela, J., García-Peña, C. (2011). **Naturalistic enactment to stimulate user experience for the evaluation of a mobile elderly care application.** *Mobile HCI*, pp. 371–380.

⁷⁷ Froese, T. (2014). **Bio-machine hybrid technology: A theoretical assessment and some suggestions for improved future design.** *Philosophy & Technology*, 27(4): 539-560

⁷⁸ Froese, T., Iizuka, H. & Ikegami, T. (2014). **Using minimal human-computer interfaces for studying the interactive development of social awareness.** *Frontiers in Psychology*, 5(1061). doi: 10.3389/fpsyg.2014.01061

Uno de estos retos es el estudio y diseño de interfaces naturales entre humanos y computadoras. Aunque se ha avanzado en el tema queda aún mucho por hacer. Recientemente se ha hablado de que la relación entre humanos y computadoras está en un punto de quiebre en el que la máquina ya no estará necesariamente supeditada a los deseos y necesidades del humano —y en la que no se utilizará meramente como una herramienta— sino que se logrará una integración casi simbiótica entre ambos agentes.⁷⁹ Con el término “integración” se pone un mayor énfasis en una era en la que los humanos cohabitan con las computadoras de manera coordinada y cooperativa, con grandes beneficios para la sociedad.

Es en esta integración donde radican muchos de los principales retos y oportunidades del área y también donde convergen múltiples áreas de investigación de las ciencias de la computación y disciplinas afines, como la inteligencia artificial, el cómputo colaborativo, la robótica, la telemática, el procesamiento de señales y el procesamiento del lenguaje natural, entre otras. Más aún, la transdisciplinariedad será aún más importante ya que se tendrá que comprender las maneras en que individuos, grupos y sociedad entienden, interpretan y se adaptan a estas nuevas realidades a través de áreas de estudio como la ciberpsicología y otras.

En el caso particular de México la investigación en IHC puede ser poca en números pero ha tenido un impacto importante a nivel nacional. Un indicador es la publicación del libro “La Interacción Humano-Computadora en México”,⁸⁰ un esfuerzo colectivo que ofrece una introducción para quienes se inician en el área así como referencias a avances realizados en el país. Otro indicador es el Congreso Mexicano de Interacción Humano-Computadora (Mex IHC),⁸¹ el cual se organiza cada dos años desde 2006. Esto represen-

⁷⁹ Umer Farooq, U., Grudin, J. (2016). **Human-computer integration**. *Interactions* 23(6):26–32. doi: <http://dx.doi.org/10.1145/3001896>.

⁸⁰ Muñoz, J., González, J. M., Sánchez, J. A. **La Interacción Humano-Computadora en México**, Pearson, 2016.

⁸¹ <http://mexihc.org>

ta un gran reto, pero también una gran oportunidad para intercambiar (e incluso cuestionar) puntos de vista fuertemente establecidos en sociedades más industrializadas. En particular, hay retos que dependen de problemas o fenómenos prevaecientes en sociedades latinoamericanas, relacionados con los índices de población analfabeta, la marginación, la criminalidad y las comunidades vulnerables. Asimismo, los aspectos sociales, geo-políticos y demográficos, como la gran proporción de poblaciones indígenas, así como el acceso a infraestructura adecuada, son distintivos de nuestra región y requieren soluciones específicas. Todas estas características representan, sin duda, un panorama de oportunidades en los que IHC puede incidir de manera muy efectiva a través del diseño de tecnologías adecuadas.

