

IDI3185 - Realidad Extendida

Clase 12a - Efectos Adversos para la Salud

Prof. Leonel Merino
Ayud. Agustín Gutiérrez

2025 - 1

1. ¿Qué son los efectos adversos para la salud?



Disney Space Mission

http://media.silive.com/goofy_about_disney/photo/disney-world-death-9c58cacbad27ae6d.jpg



Grand Tourism VR

<https://www.youtube.com/watch?v=BEERw81sdCU>



Efecto adverso sobre la salud

"Un efecto adverso para la salud es cualquier problema causado por un sistema de VR que degrada la salud de los usuarios" (Jerald, 2016)

- Los que veremos hoy:
 - Mareos causados por la VR, en particular el mareo por movimiento
 - Tensión ocular
 - Otros problemas de salud

Enfermedad de VR

Mareo: causado por el movimiento real o aparente



Enfermedad del simulador: causada por las deficiencias de una simulación

Ciberenfermedad: mareo inducido por la inmersión en mundos de VR

Mareo por movimiento

1. ¿Qué son los efectos adversos para la salud?

Mareo por movimiento

- Inducido visualmente
- Inducido físicamente
- Mareo por viajar en un vehículo en movimiento
- El mareo por simulador provoca menos vómitos



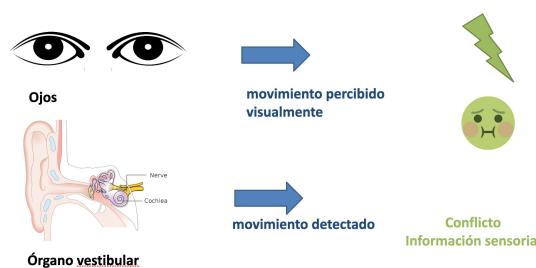
<https://www.mymed.com/diseases-conditions/motion-sickness>

Movimiento y vección de la escena

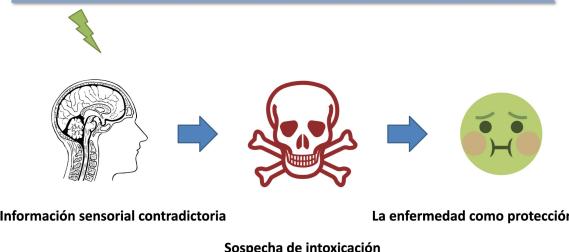
- Movimiento de la escena: movimiento en el entorno de VR
 - Intencional (por ejemplo, con fines de navegación)
 - No intencionado (movimiento de la cabeza, latencia, calibración inexacta...)
 -
- Vección: Ilusión de movimiento propio, crea sensación de viaje
 - El movimiento constante no es un problema 😊
 - Aceleración -> 🤢
 - Movimiento artificial de la cabeza -> 🤢

Teorías del mareo

Teoría del conflicto sensorial



Teoría de la evolución



Teoría de la inestabilidad postural

- el cuerpo tiene que aprender a mantener la estabilidad en situaciones de movimiento novedosas
 - Todavía no se ha aprendido: la enfermedad
 - Cuanto más tiempo se esté inestable, más grave será la enfermedad
 - "Hacerse a la mar": mecanismo de adaptación para hacer frente a los movimientos de los barcos
- Similar en VR: los usuarios aprenden a controlar mejor la postura en las experiencias de VR



Ricci, G. E., and Stoffregen, T. A. (1991). An Ecological Theory of Motion Sickness and Postural Instability. *Ecological Psychology*

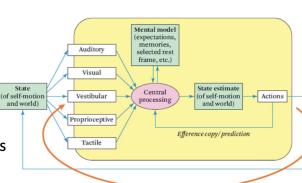
Hipótesis del marco de descanso

- El mareo no proviene de señales conflictivas directamente
- En su lugar: marcos de referencia estacionarios conflictivos implicados por esas señales.
- El cerebro tiene un modelo mental interno de lo que está inmóvil y lo que está en movimiento.



Modelo unificado del mareo

- Estado del mundo:
 - Movimiento objetivo entre el mundo exterior y el yo físico
- Entrada sensorial
 - Percepción del movimiento
- Función de la información procedente de múltiples sentidos
 - Procesamiento central
- El cerebro integra la información de los sentidos en sentido ascendente



Jerald, J. (2015). *The VR book: human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool.

Proffitt, D., and Parker, D. E. (2008). A Unified Approach to Presence and Motion Sickness. In L. J. Hershner and M. Hays (Eds.), *Virtual and Adaptive Environments* (pp. 47–66). Boca Raton, FL: CRC Press. DOI: 10.1201/9781410688884.ch3. 187, 596, 205

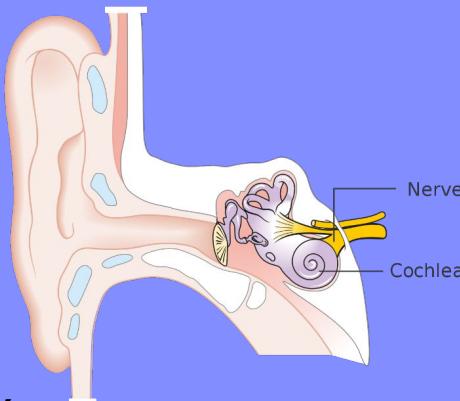
Teoría del conflicto sensorial



Ojos



movimiento
percibido
visualmente



Órgano vestibular



movimiento
detectado

Conflicto
Información sensorial

Teoría de la evolución



Información sensorial
contradictoria

Sospecha de intoxicación

El mareo como protección

Teoría de la inestabilidad postural

- El cuerpo tiene que aprender a mantener la estabilidad en situaciones de movimiento novedosas
 - Todavía no se ha aprendido → el mareo
 - Cuanto más tiempo se esté inestable, más grave será el mareo
 - “Hacerse a la mar”: mecanismo de adaptación para hacer frente a los movimientos de los barcos
 -
- Similar en VR: los usuarios aprenden a controlar mejor la postura en las experiencias de VR



Riccio, G. E., and Stoffregen, T. A. (1991). An Ecological Theory of Motion Sickness and Postural Instability. *Ecological Psychology*

Hipótesis del marco de reposo

- El mareo no proviene de señales conflictivas directamente
 - En su lugar: marcos de referencia estacionarios conflictivos implicados por esas señales.
- El cerebro tiene un modelo mental interno de lo que está inmóvil y lo que está en movimiento.



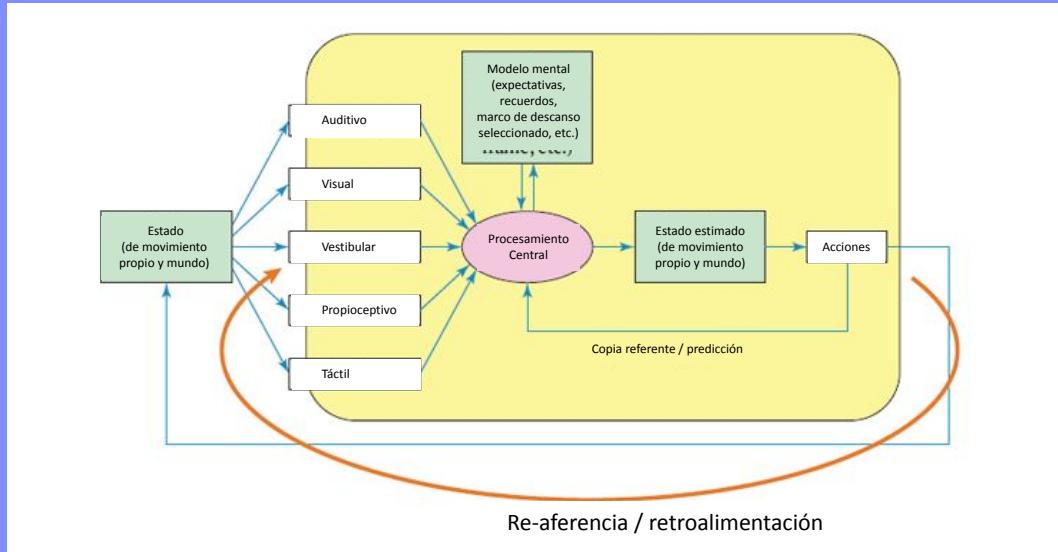
Nuevas señales sensoriales
no encajan en el marco de descanso



PERO: si las señales no son
esenciales para el marco de
reposo, no se produce mareo 😊

Modelo unificado del mareo

- Estado del mundo:
 - Movimiento objetivo entre el mundo exterior y el yo físico
- Entrada sensorial
 - Percepción del movimiento
- Función de la información procedente de múltiples sentidos
 - Procesamiento central
- El cerebro integra la información de los sentidos en sentido ascendente

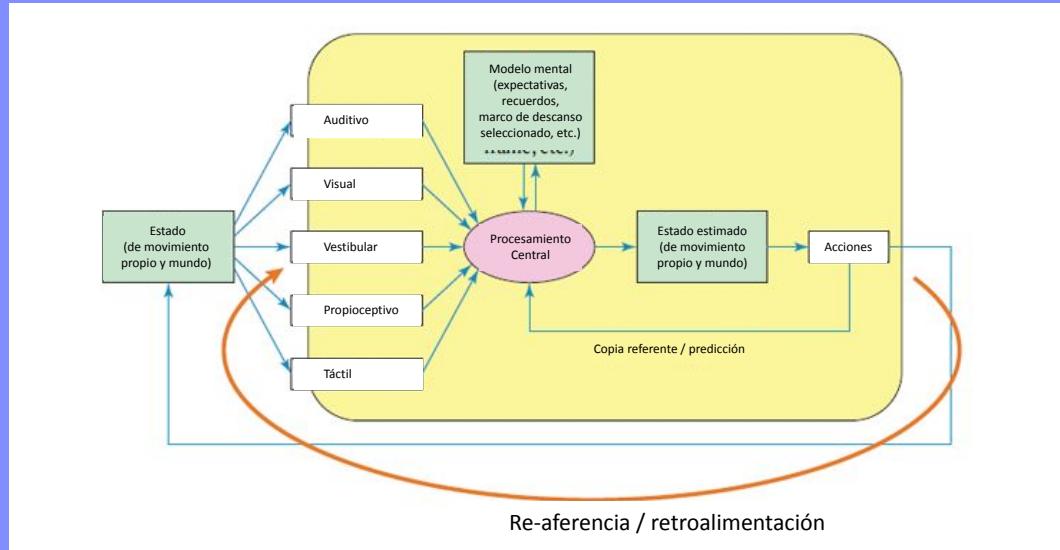


Jerald, J. (2015). *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool.

Prothero, J. D., and Parker, D. E. (2003). A Unified Approach to Presence and Motion Sickness. In L. J. Hettinger and M. Haas (Eds.), *Virtual and Adaptive Environments* (pp. 47-66). Boca Raton, FL: CRC Press. DOI: 10.1201/9781410608888.ch3. 167, 196, 205

Modelo unificado del mareo

- Estimación del estado:
- El cerebro contiene una estimación de estado del propio mundo que se revisa constantemente en función de los estímulos
- Las señales sensoriales ayudan a determinar el origen del movimiento
- Si la estimación es inestable -> el mareo

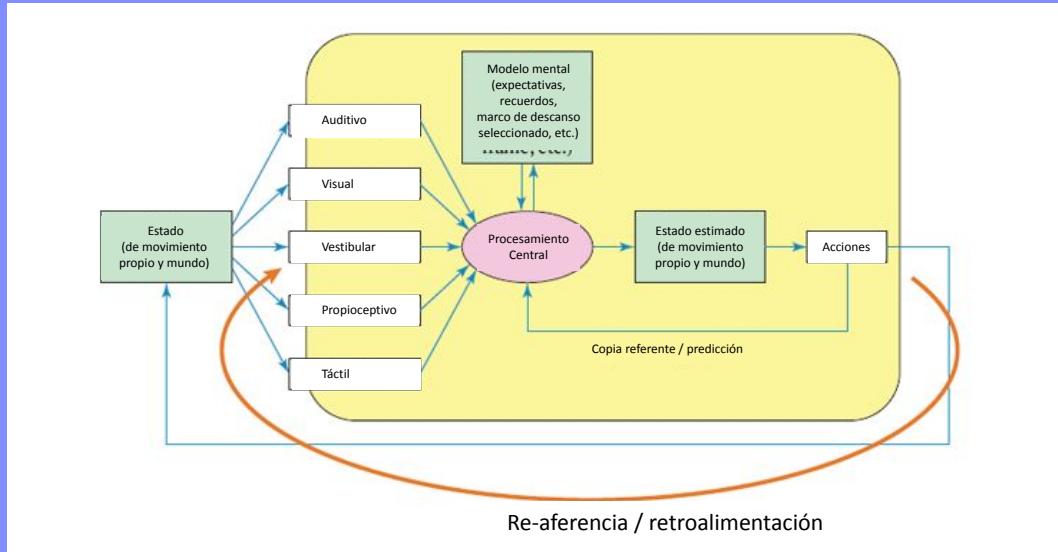


Jerald, J. (2015). *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool.

Prothero, J. D., and Parker, D. E. (2003). A Unified Approach to Presence and Motion Sickness. In L. J. Hettinger and M. Haas (Eds.), *Virtual and Adaptive Environments* (pp. 47-66). Boca Raton, FL: CRC Press. DOI: 10.1201/9781410608888.ch3. 167, 196, 205

Modelo unificado del mareo

- Acciones
 - El cuerpo realiza acciones para ajustarse a la estimación del estado
 - Cambio de postura
 - Rotación de los ojos
 - Respuestas fisiológicas (sudoración, vómitos)

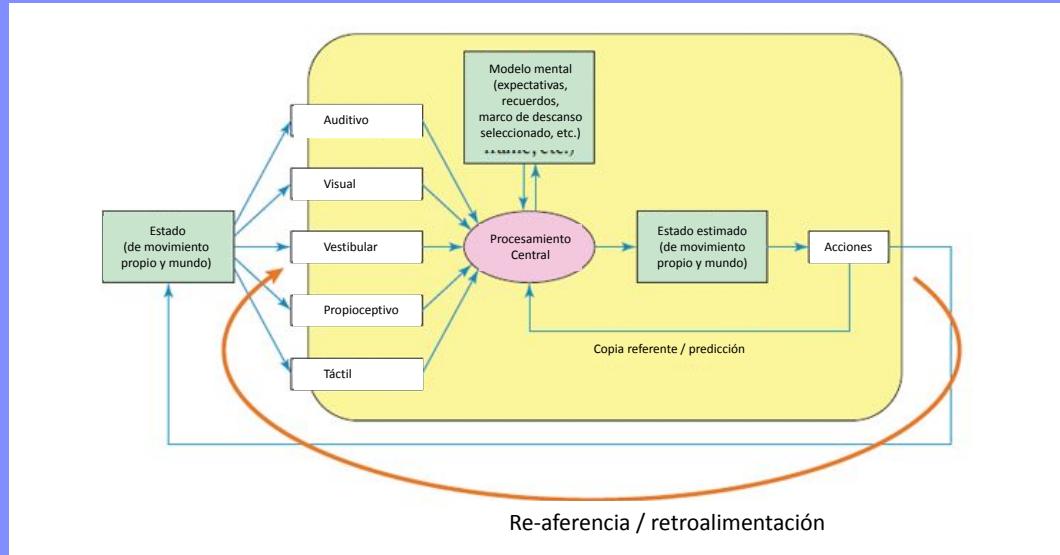


Jerald, J. (2015). *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool.

Prothero, J. D., and Parker, D. E. (2003). A Unified Approach to Presence and Motion Sickness. In L. J. Hettinger and M. Haas (Eds.), *Virtual and Adaptive Environments* (pp. 47-66). Boca Raton, FL: CRC Press. DOI: 10.1201/9781410608888.ch3. 167, 196, 205

Modelo unificado del mareo

- Predicción y retroalimentación
 - La percepción del mundo estable se basa en la predicción de cómo una acción va a cambiar la información sensorial
- Modelo mental
 - Modelo interno "sobre cómo funciona el mundo"
 - Basado en experiencias y expectativas previas
 - Algunas partes se pueden reaprender



Jerald, J. (2015). *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool.

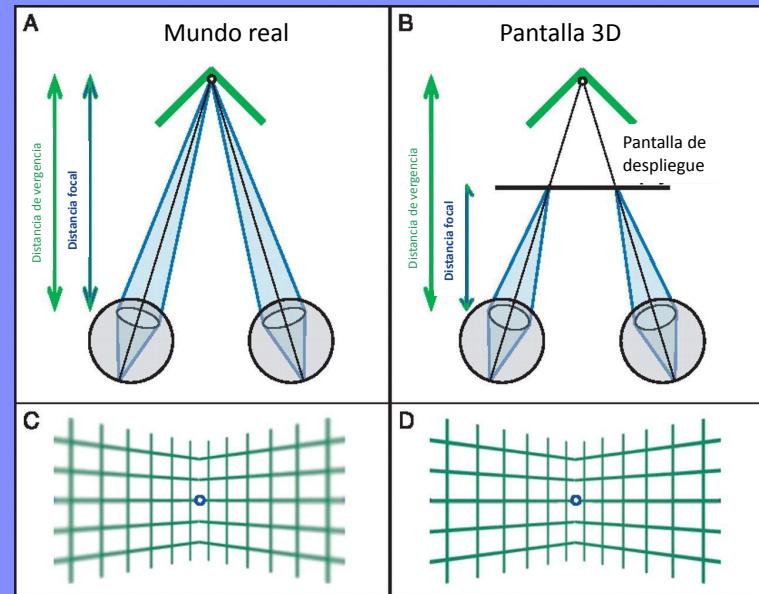
Prothero, J. D., and Parker, D. E. (2003). A Unified Approach to Presence and Motion Sickness. In L. J. Hettinger and M. Haas (Eds.), *Virtual and Adaptive Environments* (pp. 47-66). Boca Raton, FL: CRC Press. DOI: 10.1201/9781410608888.ch3. 167, 196, 205

Otros efectos adversos y desafíos

1. ¿Qué son los efectos adversos para la salud?

Efectos que provocan la fatiga ocular

- Conflicto de acomodación-vergencia
 - Objeto cercano: los ojos convergen
 - Objetos lejanos: los ojos se separan
 - Cuando se usa un HMD esto a menudo no es coherente, lo que provoca tensión ocular
- Conflicto de oclusión binocular
- Parpadeo



<https://medium.com/vrinflux-dot-com/vergence-accommodation-conflict-is-a-bitch-here-s-how-to-design-around-it-87dab1a7d9ba>

Readaptación y efectos secundarios

- Readaptación: adaptación "de vuelta a la normalidad"
- El uso de la VR puede provocar desorientación e inestabilidad perceptiva del mundo
- Las personas que más se marean durante el uso de la VR son las que más secuelas experimentan
- Se sugiere hacer pausas entre el uso de la VR y la conducción



Fatiga física

- En los años 90: ¡los primeros cascos de VR pesaban 2 kg!
 - Afortunadamente hoy son más ligeros 😊
-
- Sin embargo: si el centro de masa del HMD es diferente al centro de masa de la cabeza → ¡tensión en el cuello!
 - Síndrome del brazo de gorila por el uso de interfaces gestuales



Costello



<https://phys.org/news/2017-05-gorilla-arm-fatigue-mid-air-usage.html>

Costello, P. J. (1997). *Health and safety issues associated with virtual reality: a review of current literature*

Ajuste e higiene de los auriculares

- A menudo molestias por la presión o la tirantez
 - Equipos físicamente ajustables
- Cuando varias personas utilizan el mismo dispositivo, la higiene se convierte en un problema
 - PERO : el desinfectante puede dañar el equipo



Jerald, J. (2015). *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool.



<https://vr-expert.de/nieuws/3-optionen-fuer-eine-gute-hygiene-bei-der-verwendung-von-vr-headsets/>

Lesión

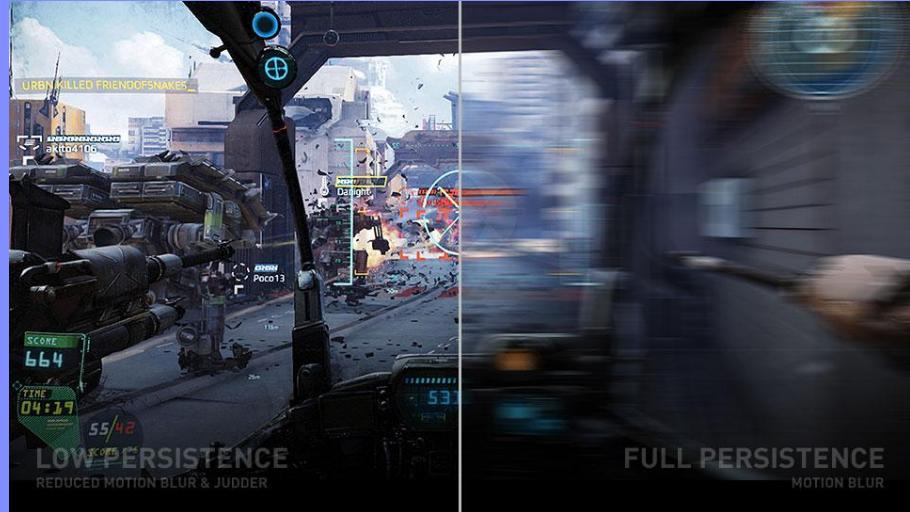
- Traumatismos físicos
- Lesiones por tensión
- Pérdida de audición inducida por el ruido



Latencia

Efectos negativos

- La latencia hace que las señales visuales vayan por detrás de otras señales perceptivas
- Latencia + movimiento de la cabeza → la escena se mueve incorrectamente : "nadando"
- Desenfoque del movimiento debido a la latencia
- Rendimiento degradado en la tarea
- Interrupciones en la presencia

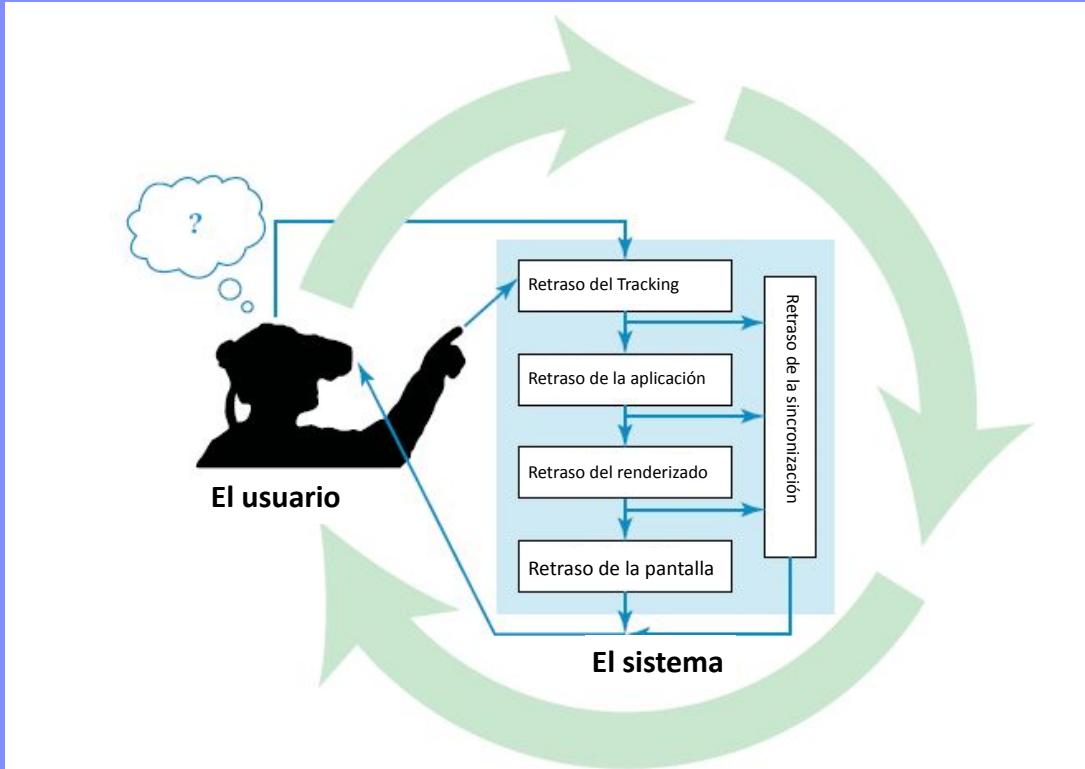


<https://www.roaddtovr.com/lg-develops-ai-based-tech-reduce-latency-motion-blur-vr-displays/>

¿Qué es una latencia "baja"?

- Hasta ahora hay poco consenso entre los investigadores
- La latencia debería ser menor, si hay más movimiento de cabeza
- Las pantallas ópticas transparentes deberían tener una latencia mucho menor (< 1ms)
 - Es necesario discriminar las señales reales y virtuales.

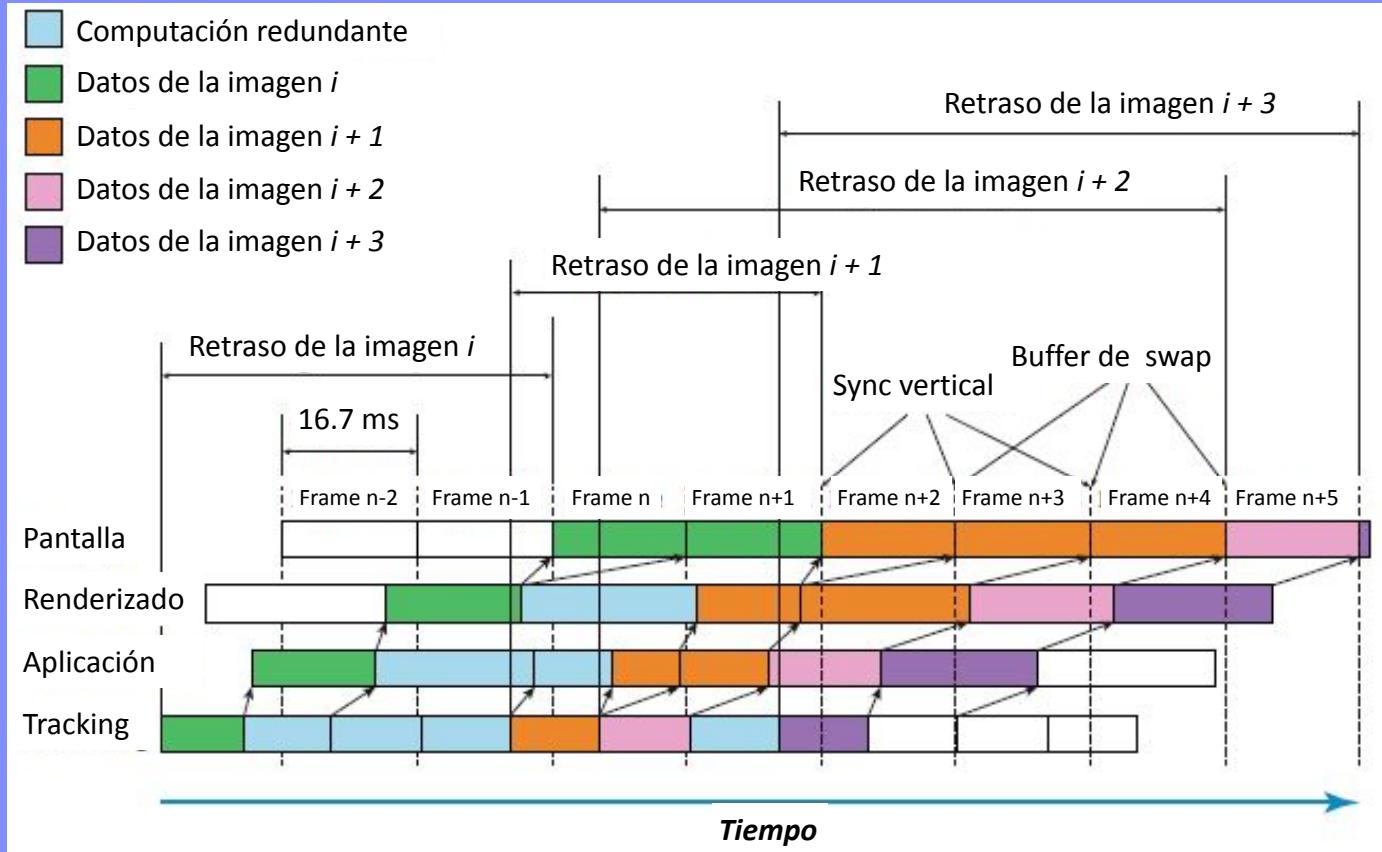
Fuentes de latencia



Explicación de los retrasos

- **Retraso del tracking:** retraso entre el movimiento del cuerpo y el registro del movimiento por el sistema de seguimiento
- **Retraso de renderización:** retraso hasta que los nuevos datos se renderizan en la nueva imagen
- **Retraso de visualización:** tiempo que transcurre desde que la señal sale de la tarjeta gráfica hasta que el píxel cambia
- **Retraso de sincronización:** la sincronización de todos los componentes provoca un retraso
- **Retraso total:** suma de los retrasos de los componentes + el retraso de sincronización

Analizar y medir el retraso





Factores del sistema



Factores de diseño de la aplicación



Factores individuales



Resumen de los factores que contribuyen a Efectos adversos para la salud

Factores del sistema

- Latencia
- Calibración
- Exactitud y precisión del
- Campo de visión
- Tiempo de respuesta y per
- Ajuste del casco
- Temperatura
- Pantallas sucias
- ... y muchos más, véa "The VR Book".



Factores individuales

- La facilidad con la que se marea la gente
- Sensibilidad al movimiento provocador
- La tasa de adaptación
- La tasa de recuperación de los síntomas

→ Depende de nuevo de factores más específicos



Factores individuales

- Antecedentes de mareo
- Salud
- Experiencia con la VR
- Pensamiento sobre el mareo
- Género
- Edad
- Modelo mental/expectativas
- ...



Factores de diseño de la aplicación

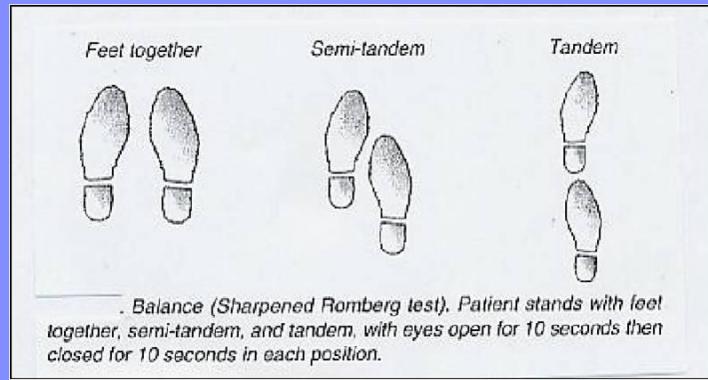
- Velocidad de fotogramas
- Lugar de control
- Aceleración visual
- Movimiento físico de la cabeza
- Duración
- ...



Reducir los efectos adversos

Medición de la incomodidad de la VR

- Cuestionario sobre la enfermedad en el simulador Kennedy (SSQ)
- Pruebas de estabilidad postural
 - Postura de Romberg agudizada
- Medidas fisiológicas:
 - Frecuencia cardíaca
 - Frecuencia de parpadeo
 - EEG
 - Cambios en el color de la piel
 - ...
- Esfuerzos recientes de investigación: combinar el SSQ, los factores ergonómicos y la tensión ocular en un modelo [1]



https://www.physio-pedia.com/images/thumb/8/81/Romberg_2.jpg/369px-Romberg_2.jpg

Optimizar la adaptación a la VR

- Exposición incremental
- Aumento progresivo de la intensidad de la exposición
- Entornos relajantes y tranquilizadores
- Proporcionar una latencia constante



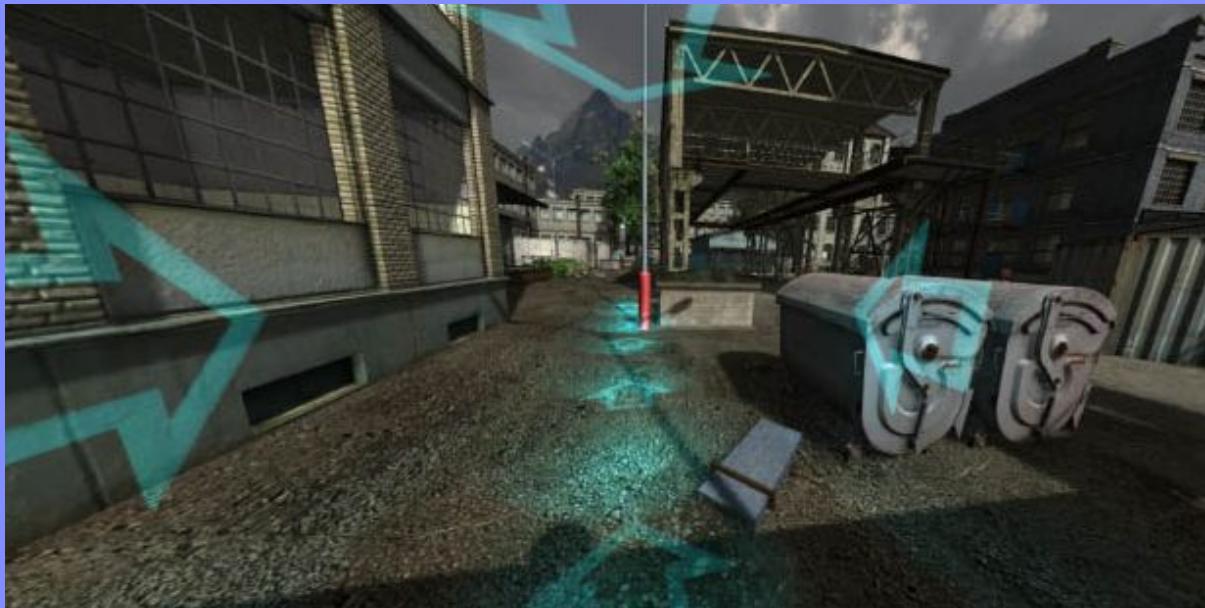
Cuestiones estabilizadas en el mundo real

Proporcionar señales estables que sirvan de marco de reposo



Aspectos estabilizados en el mundo real

Aspectos que se mantienen en relación con el mundo real



Manipular el mundo como objeto

- Permitir el control del punto de vista con multitáctil 3D
 - Movimiento propio: el usuario empuja, tira, etc. por el mundo
 - Movimiento del mundo: el usuario puede empujar y tirar del mundo como un objeto
- El movimiento del punto de vista se considera un "movimiento del objeto" desde un punto de vista estacionario
 - Es menos probable que el sistema vestibular se estimule menos mareos

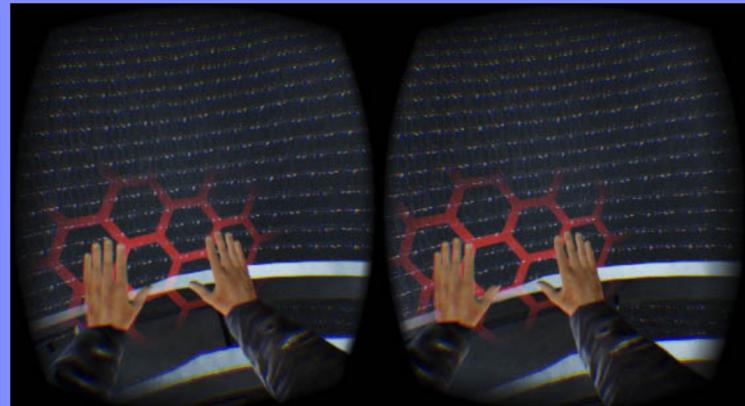
Compensación de retrasos

- Predicción del movimiento de la cabeza
- Técnicas de post renderizado
 - Renderizar más de lo necesario de antemano y luego seleccionar el subconjunto adecuado



Otras cosas que hacer

- Proporcionar indicadores principales
- Utilizar plataformas de movimiento
- Reducir el brazo de gorila
- Rejillas de advertencia y desvanecimiento
- Medicación

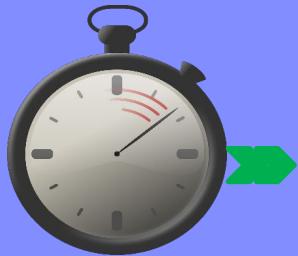


Guías de diseño

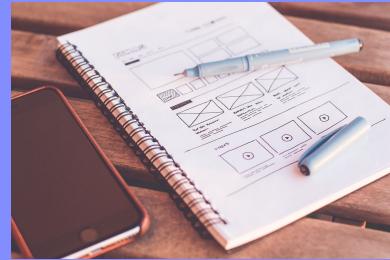
Hardware



Calibración &
Reducción de la latencia



Diseño general



Diseño de interacción



Diseño de movimiento



Precauciones de uso



Pautas para medir el mareo



Hardware

- Elija HMDs sin parpadeo perceptible
- HMDs ligeros
- HMD con seguimiento preciso y rápido
- Sistemas inalámbricos
- ...



Calibración del sistema y reducción de la latencia

- Calibrar el sistema y confirmar regularmente que la calibración es correcta
- El campo de visión virtual y el real deben coincidir
- Ofrezca opciones de calibración para múltiples usuarios
- Minimizar los retrasos
- Medir los retrasos y compensarlos
- ...



Diseño general

- Minimizar los estímulos cercanos a los ojos
- Considere la posibilidad de oscurecer las escenas para reducir el parpadeo
- Para reducir las lesiones, diseñe experiencias para sentarse
- Diseñar experiencias cortas
- Rejilla de aviso si el usuario se acerca a un objeto del mundo real
- Desvanecimiento si la latencia aumenta demasiado



Diseño de movimiento

- Si el objetivo principal es minimizar el mareo por VR: el punto de vista cambia en función del movimiento de la cabeza
- Si la latencia es alta, no diseñe tareas que requieran movimientos rápidos de la cabeza
- Para reducir la inestabilidad postural, diseñe tareas en posición sentada
- No añada nunca movimientos virtuales de la cabeza
- Las aceleraciones visuales son menos problemáticas cuando el usuario las controla activamente
- ...



Diseño de interacción

- Diseñar interacciones con movimientos cómodos de la mano
- Diseñar movimientos no repetitivos para reducir la tensión



Precauciones de uso: Seguridad

- Obligar al usuario a permanecer en zonas físicas seguras
- Para los usuarios que caminan, contar con un observador humano que les ayude si es necesario



Precauciones de uso: Nuevos usuarios

- Ser conservador a la hora de presentar señales que induzcan a la enfermedad
- Considerar la posibilidad de reducir el campo de visión
- Indicar a los jugadores que la dirección de la mirada no funciona necesariamente en VR
- Fomentar los movimientos lentos de la cabeza
- Empezar con sesiones cortas

Precauciones de uso: Enfermedad

- No utilice el equipo de VR si está enfermo
- Está bien parar a la primera señal de malestar en lugar de "aguantar".
- Preste atención a las señales de advertencia



Precauciones de uso: Adaptación y readaptación

- Para maximizar la adaptación utilice la VR en un intervalo de 2 a 5 días
- Para reducir las molestias de la readaptación siéntese y cierre los ojos
- No utilice la VR y conduzca



Precauciones de uso: Higiene

- Idealmente: Un casco de VR por persona
- En caso contrario:
 - Utilizar fundas de VR
 - Utilizar máscaras de VR
 - Utilizar dispositivos de desinfección



<https://vr-expert.de/nieuws/3-optionen-fuer-eine-gute-hygiene-bei-der-verwendung-von-vr-headsets/>

Directrices para la medición de la enfermedad

- La forma más fácil de recoger datos: los cuestionarios
 - Idealmente sólo después de la experiencia
- Datos objetivos: mediciones fisiológicas





Espero que nadie se esté sintiendo mal 😊



Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0)

You are free to:

Share — copy and redistribute the material in any medium or format

Adapt — remix, transform, and build upon the material for any purpose, even commercially.

The licensor cannot revoke these freedoms as long as you follow the license terms.

Under the following terms:



Attribution — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.



ShareAlike — If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original.

No additional restrictions — You may not apply legal terms or technological measures that legally restrict others from doing anything the license permits.